



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**RANCANG BANGUN *POWER COMBINER / DIVIDER*  
UNTUK ANTENA *ARRAY* PADA FREKUENSI *S BAND*  
UNTUK SISTEM RADAR BERBASIS *SOFTWARE*  
*DEFINED RADIO***

Hidayah  
NRP 2211 100 016

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DESIGN OF POWER COMBINER / DIVIDER FOR  
ANTENNA ARRAY IN S BAND FREQUENCY FOR  
RADAR SYSTEM BASED ON SOFTWARE DEFINED  
RADIO**

Hidayah  
NRP 2211 100 016

Supervisors  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

**RANCANG BANGUN *POWER COMBINER / DIVIDER*  
UNTUK ANTENA *ARRAY* PADA FREKUENSI *S BAND*  
UNTUK SISTEM RADAR BERBASIS *SOFTWARE*  
*DEFINED RADIO***

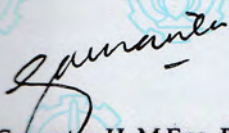
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Pada**

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I,**



**Prof. Ir. Gamantyo H. M.Eng. Ph.D.  
NIP. 197011111993031002**

**Dosen Pembimbing II,**



**Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197210012003121002**



# **RANCANG BANGUN *POWER COMBINER / DIVIDER* UNTUK ANTENA *ARRAY* PADA FREKUENSI *S BAND* UNTUK SISTEM RADAR BERBASIS *SOFTWARE DEFINED RADIO***

Hidayah  
2211 100 016

Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Dalam sistem radar, sebuah antenna yang spesifik diperlukan guna mendeteksi target pada cakupan wilayahnya dengan akurasi yang tinggi. Pembuatan antenna yang sesuai dengan kebutuhan tersebut, efisien, berdimensi kecil, dan mudah dikonfigurasi susunannya dapat menggunakan antenna mikrostrip *array*.

Pada antenna mikrostrip *array*, terdapat *power combiner/divider* yang berperan penting sebagai penggabung daya yang masuk melalui beberapa *port input*-nya menjadi satu *port output* dan sebagai pembagi daya yang masuk melalui satu *port input*-nya menjadi beberapa *port output*. *Power combiner/divider* membutuhkan spesifikasi tertentu yang harus dipenuhi, seperti *return loss* dan *insertion loss* yang harus dibuat serendah mungkin.

Dalam penelitian ini direalisasikan *power combiner/divider* yang bekerja pada frekuensi 3 GHz. *Power combiner/divider* tersebut dirancang dengan menggunakan metode Wilkinson dan teknologi mikrostrip. Perancangan dilakukan secara teoritis dan dioptimalisasi dengan menggunakan *software CST Microwave Studio 2012*.

Pada hasil pengukuran, *power combiner/divider 1 to 2* yang telah difabrikasi memiliki *return loss*  $\leq -10$  dB, *insertion loss* berkisar -6.737 dB sampai dengan -6.948 dB, isolasi antar *port*  $\leq -20$  dB, dan VSWR-nya  $\leq 1.5$ . Sedangkan pada *power combiner/divider 1 to 3* yang telah difabrikasi memiliki *return loss* sebesar  $\leq -10$  dB, *insertion loss* berkisar -5.302 dB sampai dengan -9.301 dB, isolasi antar *port*  $\leq -20$  dB, dan VSWR-nya  $\leq 1.5$ .

**Kata Kunci :** Radar, Power Combiner, Power Divider, Wilkinson

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# **DESIGN OF POWER COMBINER / DIVIDER FOR ANTENNA ARRAY IN S BAND FREQUENCY FOR RADAR SYSTEM BASED ON SOFTWARE DEFINED RADIO**

Hidayah  
2211 100 016

Supervisor I : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Supervisor II : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

## **ABSTRACT**

In radar system, a specific antenna needed to detect targets in the coverage area with high accuracy. Manufacture antennas that fit those needs, efficient, small dimension, and the designation can easily be configured using microstrip antenna array.

In microstrip antenna array, there is a power combiner/divider which important as a power combiner that combine some power from input ports into an output port and a power divider that divide some power from input port into multiple output ports. Power combiner/divider requires certain specifications that must be fulfilled, such as return loss and insertion loss to be made as low as possible.

In this study realized the power combiner/divider which works at a frequency of 3 GHz. Power combiner/divider is designed using microstrip Wilkinson and technology. The design is done theoretically and optimized using software CST Microwave Studio 2012.

From the measurement, power combiner/divider 1 to 2 has  $\leq -10$  dB for return loss, from -6.737 dB to -6.948 dB for insertion loss,  $\leq -20$  dB for isolation between ports, and  $\leq 1.5$  for VSWR. While for power combiner/divider 1 to 3 there are  $\leq -10$  dB for return loss, from -5.302 dB to -9.301 dB for insertion loss,  $\leq -20$  dB for isolation between ports, and  $\leq 1.5$  for VSWR.

**Keyword :** *Radar, Power Combiner, Power Divider, Wilkinson*

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil ‘alamin, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

### **“RANCANG BANGUN *POWER COMBINER / DIVIDER* UNTUK ANTENA *ARRAY* PADA FREKUENSI *S BAND* UNTUK SISTEM RADAR BERBASIS *SOFTWARE DEFINED RADIO*”**

Penulis berterima kasih atas bantuan, bimbingan, dan kerjasama kepada :

1. Almarhum Papa, Pietoyo Soewondo, yang selalu bisa mengingatkan akan arti hidup dan prosesnya. Mama, Syufriyarmi, yang selalu menanti kepulangan dan setia memberikan wejangan. Kemudian, Mas, Didiet Syufiyarto, pengingat dalam setiap keputusan. Dan Muhammad Fanani Gamestya Moerad, yang selalu menemani.
2. Bapak Gamantyo Hendrantoro, dosen pembimbing pertama, dan Ibu Endang Widjiati yang telah memberikan perhatian dan bantuan.
3. Bapak Eko Setijadi, dosen pembimbing kedua atas bimbingan dan arahan.
4. Bapak Endroyono, Koordinator Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro ITS dan Bapak Ardyono Priyadi, Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Bapak dan Ibu dosen bidang studi Telekomunikasi Multimedia, Teknik Elektro ITS.
6. Rekan-rekan E-51 dan LJ TMM atas segala motivasi yang diberikan.

Penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xv</b>
<b>TABLE OF CONTENT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BAB 1.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Metodologi .....	3
1.5 Sistematika Laporan .....	5
1.6 Relevansi .....	5
<b>BAB 2.....</b>	<b>7</b>
2.1 Sistem Radar [3].....	7
2.2 <i>Software Defined Radio</i> [4].....	8
2.3 Frekuensi <i>S Band</i> [5].....	8
2.4 Antena Mikrostrip Array .....	9
2.4.1 Antena Mikrostrip.....	9
2.4.2 <i>Phased Array Antenna</i> [1] .....	11
2.5 <i>Power Combiner / Power Divider</i> [6] .....	12
2.5.1 <i>Wilkinson Power Combiner / Power Divider</i> [6].....	13
2.5.2 <i>Power Combiner / Power Divider 1 to 2 dan 1 to 3</i> .....	14
2.6 Parameter Performansi <i>Power Combiner / Power Divider</i> .....	17
2.6.1 <i>Scattering Parameter</i> .....	17
2.6.2 <i>Return Loss</i> [8] .....	21
2.6.3 <i>Insertion Loss</i> [8].....	22
2.6.4 <i>Isolation Loss</i> [8].....	22
2.6.5 <i>Voltage Standing Wave Ratio</i> [8].....	23
2.6.6 <i>Bandwidth</i> [8] .....	23
2.7 Instrumen Perancangan dan Pengukuran.....	24
2.7.1 <i>Computer Software Technology Microwave Studio</i> [10] .....	24
2.7.2 <i>Network Analyzer</i> .....	25

2.7.3	Kabel <i>Jumper RG8</i> .....	25
2.7.4	Resistor SMD.....	26
2.7.5	<i>SMA Female PCB Connector</i> .....	26
2.7.6	<i>N-Male Connector</i> .....	27
<b>BAB 3</b>	.....	<b>29</b>
3.1	Diagram Alir Perancangan .....	29
3.2	Spesifikasi Rancangan.....	30
3.3	Perancangan Secara Teoritis.....	30
3.3.1	Menentukan Impedansi Karakteristik Saluran .....	30
3.3.2	Lebar dan Panjang Saluran untuk Masing-Masing <b>Z<sub>0</sub></b> .....	31
3.3.3	Penambahan Transformator Saluran $\lambda/4$ .....	33
3.3.4	Lebar dan Panjang Saluran Transmisi $\lambda/4$ .....	33
3.4	Perancangan Secara Simulasi .....	35
3.5	Fabrikasi Rancangan .....	39
3.6	Pemasangan Konektor dan Resistor .....	40
<b>BAB 4</b>	.....	<b>43</b>
4.1	Metode Pengukuran.....	44
4.1.1	<i>Return Loss</i> .....	49
4.1.2	<i>Insertion Loss</i> .....	49
4.1.3	<i>Isolation Loss</i> .....	49
4.1.4	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i> .....	50
4.2	Data dan Analisis Hasil Pengukuran .....	50
4.2.1	<i>Return Loss</i> .....	50
4.2.2	<i>Insertion Loss</i> .....	58
4.2.3	<i>Isolation Loss</i> .....	67
4.2.4	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i> .....	76
4.3	Sintesis .....	82
<b>BAB 5</b>	.....	<b>85</b>
5.1	Kesimpulan.....	85
5.2	Saran.....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>89</b>
	Dokumentasi Pengukuran .....	89
	Pengesahan Proposal.....	90
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	.....	<b>91</b>

## TABLE OF CONTENT

<b>COVER.....</b>	<b>i</b>
<b>ORIGINALITY SHEET .....</b>	<b>v</b>
<b>APPROVAL SHEET.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>PREFACE .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xv</b>
<b>TABLE OF CONTENT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ILLUSTRATION.....</b>	<b>xix</b>
<b>TABELS .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>CHAPTER 1.....</b>	<b>1</b>
1.1 Background .....	1
1.2 State of the Problem .....	2
1.3 Purpose .....	3
1.4 Methodology .....	3
1.5 Systematic Report.....	5
1.6 Relevance .....	5
<b>CHAPTER 2.....</b>	<b>7</b>
2.1 Radar System [3] .....	7
2.2 Software Defined Radio [4].....	8
2.3 S Band Frequency [5].....	8
2.4 Microstrip Array Antenna .....	9
2.4.1 Microstrip Antenna .....	9
2.4.2 Phased Array Antenna [1].....	11
2.5 Power Combiner / Power Divider [6].....	12
2.5.1 Wilkinson Power Combiner / Power Divider [6].....	13
2.5.2 Power Combiner / Power Divider 1 to 2 and 1 to 3 .....	14
2.6 Quality Parameter Power Combiner / Power Divider .....	17
2.6.1 Scattering Parameter .....	17
2.6.2 Return Loss [8] .....	21
2.6.3 Insertion Loss [8].....	22
2.6.4 Isolation Loss [8].....	22
2.6.5 Voltage Standing Wave Ratio [8] .....	23
2.6.6 Bandwidth [8] .....	23
2.7 Design and Measurement Instrument .....	24
2.7.1 Computer Software Technology Microwave Studio [10] .....	24
2.7.2 Network Analyzer.....	25

2.7.3	RG8 Jumper Wire .....	25
2.7.4	SMD Resistor .....	26
2.7.5	SMA Female PCB Connector .....	26
2.7.6	N-Male Connector .....	27
<b>CHAPTER 3</b>	<b>.....</b>	<b>29</b>
3.1	Flow Chart .....	29
3.2	Design Spesification .....	30
3.3	Theoritical Design .....	30
3.3.1	Determine Characteristic Line Impedance .....	30
3.3.2	The Width and Length of Line for Each <b>Z<sub>0</sub></b> .....	31
3.3.3	Increase $\lambda/4$ Transformator Line .....	33
3.3.4	The Width and Length $\lambda/4$ Transmission Line .....	33
3.4	Design Simulation .....	35
3.5	Design Fabrication .....	39
3.6	Connector and Resistor Installation .....	40
<b>CHAPTER 4</b>	<b>.....</b>	<b>43</b>
4.1	Measurement Methode .....	44
4.1.1	Return Loss .....	49
4.1.2	Insertion Loss .....	49
4.1.3	Isolation Loss .....	49
4.1.4	Voltage Standing Wave Ratio .....	50
4.2	Data and Analysis Measurement .....	50
4.2.1	Return Loss .....	50
4.2.2	Insertion Loss .....	58
4.2.3	Isolation Loss .....	67
4.2.4	Voltage Standing Wave Ratio .....	76
4.3	Synthesis .....	82
<b>CHAPTER 5</b>	<b>.....</b>	<b>85</b>
5.1	Conclusion .....	85
5.2	Advice .....	85
<b>BIBLIOGRAPHY</b>	<b>.....</b>	<b>87</b>
<b>ENCLOSURE</b>	<b>.....</b>	<b>89</b>
	Measurement Documentation .....	89
	Approval Proposal .....	90
<b>BIOGRAPHY</b>	<b>.....</b>	<b>91</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Prinsip Kerja Radar .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Arsitektur Ideal SDR .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Pembagian Frekuensi Radio .....	9
<b>Gambar 2.4</b> Konsep Dasar Antena .....	10
<b>Gambar 2.5</b> Antena Mikrostrip .....	10
<b>Gambar 2.6</b> Bentuk <i>Patch</i> Antena Mikrostrip .....	10
<b>Gambar 2.7</b> Contoh Antena Mikrostrip <i>Array</i> 4 Elemen .....	11
<b>Gambar 2.8</b> Blok Diagram <i>Front-End Radar</i> menggunakan Antena <i>Phased Array</i> .....	12
<b>Gambar 2.9</b> <i>Power Divider</i> dan <i>Power Combiner</i> .....	12
<b>Gambar 2.10</b> Struktur <i>transformator</i> seperempat panjang gelombang .....	14
<b>Gambar 2.11</b> Rangkaian Sederhana <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	16
<b>Gambar 2.12</b> Contoh Rangkaian <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	17
<b>Gambar 2.13.</b> Rangkaian Ekuivalen <i>N-Port Network</i> .....	17
<b>Gambar 2.14.</b> Konsep S-Parameter dalam Wilkinson <i>Power Combiner/Divider</i> ...	20
<b>Gambar 2.15</b> Logo <i>CST Microwave Studio</i> .....	24
<b>Gambar 2.16</b> <i>Advantest R3770 Network Analyzer</i> .....	25
<b>Gambar 2.17.</b> <i>Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer</i> .....	25
<b>Gambar 2.18.</b> Kabel Jumper RG8 .....	26
<b>Gambar 2.19.</b> Resistor SMD 100 Ohm .....	26
<b>Gambar 2.20</b> <i>SMA Female PCB Connector</i> 50 Ohm .....	26
<b>Gambar 2.21.</b> <i>N-Male Connector</i> .....	27
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Perancangan <i>Power Combiner/Divider</i> .....	29
<b>Gambar 3.2</b> Desain <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	36
<b>Gambar 3.3</b> Parameter <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	37
<b>Gambar 3.4.</b> Hasil Desain <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	37
<b>Gambar 3.5</b> Desain <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	38
<b>Gambar 3.6.</b> Hasil Desain <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	38
<b>Gambar 3.7</b> Parameter <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	39
<b>Gambar 3.8</b> PCB <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	39
<b>Gambar 3.9</b> PCB <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	39
<b>Gambar 3.10</b> <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	40
<b>Gambar 3.11</b> <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	41
<b>Gambar 4.1.</b> Diagram Alir Proses Pengukuran Unjuk Kerja <i>Power Combiner/Divider</i> .....	43
<b>Gambar 4.2</b> <i>Navigation Tree</i> untuk Melihat Hasil Simulasi pada CST MWS .....	45
<b>Gambar 4.3</b> Proses Kalibrasi pada <i>Network Analyzer</i> .....	46
<b>Gambar 4.4</b> Kalibrator : <i>Short Port, Load Port, dan Open Port</i> .....	46
<b>Gambar 4.5.</b> Dummy Load 50 $\Omega$ .....	46
<b>Gambar 4.6.</b> Blok Diagram Pengukuran <i>Power Combiner/Divider</i> dengan NA ....	47

<b>Gambar 4.7.</b> Susunan Alat dengan <i>Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer</i> .....	48
<b>Gambar 4.8.</b> Susunan Alat dengan <i>Advantest R3770 Network Analyzer</i> .....	48
<b>Gambar 4.9.</b> S11 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	50
<b>Gambar 4.10.</b> S11 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA di LIPI Bandung .....	51
<b>Gambar 4.11.</b> S22 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	51
<b>Gambar 4.12.</b> S22 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA di B.306 ITS. 52	
<b>Gambar 4.13.</b> S33 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	52
<b>Gambar 4.14.</b> S33 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA di B.306 ITS. 52	
<b>Gambar 4.15.</b> S11 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	54
<b>Gambar 4.16.</b> S11 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di LIPI Bandung .....	54
<b>Gambar 4.17.</b> S22 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	55
<b>Gambar 4.18.</b> S22 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 55	
<b>Gambar 4.19.</b> S33 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	55
<b>Gambar 4.20.</b> S33 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 56	
<b>Gambar 4.21.</b> S44 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	56
<b>Gambar 4.22.</b> S44 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 56	
<b>Gambar 4.23.</b> S12 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	58
<b>Gambar 4.24.</b> S12 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA .....	58
<b>Gambar 4.25.</b> S21 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	59
<b>Gambar 4.26.</b> S21 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA .....	59
<b>Gambar 4.27.</b> S13 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	59
<b>Gambar 4.28.</b> S13 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA .....	60
<b>Gambar 4.29.</b> S31 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	60
<b>Gambar 4.30.</b> S31 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA .....	60
<b>Gambar 4.31.</b> S12 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	62
<b>Gambar 4.32.</b> S12 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di LIPI Bandung .....	62
<b>Gambar 4.33.</b> S21 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	63
<b>Gambar 4.34.</b> S21 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 63	
<b>Gambar 4.35.</b> S13 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	63
<b>Gambar 4.36.</b> S13 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di LIPI Bandung .....	64
<b>Gambar 4.37.</b> S31 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	64
<b>Gambar 4.38.</b> S31 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 65	
<b>Gambar 4.39.</b> S14 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	65
<b>Gambar 4.40.</b> S14 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di LIPI Bandung .....	65
<b>Gambar 4.41.</b> S41 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	66
<b>Gambar 4.42.</b> S41 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 66	
<b>Gambar 4.43.</b> S23 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	68

<b>Gambar 4.44.</b> S23 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA di LIPI Bandung .....	68
<b>Gambar 4.45.</b> S32 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	69
<b>Gambar 4.46.</b> S32 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA .....	69
<b>Gambar 4.47.</b> S23 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	70
<b>Gambar 4.48.</b> S23 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di LIPI Bandung .....	71
<b>Gambar 4.49.</b> S32 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	71
<b>Gambar 4.50.</b> S32 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 72	
<b>Gambar 4.51.</b> S24 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	72
<b>Gambar 4.52.</b> S24 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 72	
<b>Gambar 4.53.</b> S42 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	73
<b>Gambar 4.54.</b> S42 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 73	
<b>Gambar 4.55.</b> S34 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	73
<b>Gambar 4.56.</b> S34 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 74	
<b>Gambar 4.57.</b> S43 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	74
<b>Gambar 4.58.</b> S43 untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA di B.306 ITS. 74	
<b>Gambar 4.59.</b> VSWR <i>port 1</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	76
<b>Gambar 4.60.</b> VSWR <i>port 1</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA di LIPI Bandung .....	76
<b>Gambar 4.61.</b> VSWR <i>port 2</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	77
<b>Gambar 4.62.</b> VSWR <i>port 2</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA di B.306 ITS .....	77
<b>Gambar 4.63.</b> VSWR <i>port 3</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada CST MWS .....	77
<b>Gambar 4.64.</b> VSWR <i>port 3</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> pada NA di B.306 ITS .....	78
<b>Gambar 4.65.</b> VSWR <i>port 1</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	79
<b>Gambar 4.66.</b> VSWR <i>port 1</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA .....	79
<b>Gambar 4.67.</b> VSWR <i>port 2</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	80
<b>Gambar 4.68.</b> VSWR <i>port 2</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA .....	80
<b>Gambar 4.69.</b> VSWR <i>port 3</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	80
<b>Gambar 4.70.</b> VSWR <i>port 3</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA .....	81
<b>Gambar 4.71.</b> VSWR <i>port 4</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada CST MWS .....	81
<b>Gambar 4.72.</b> VSWR <i>port 4</i> untuk <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> pada NA .....	81
<b>Gambar 6.1.</b> Pengukuran Alat di LIPI Bandung .....	89



Gambar 6.2. Pengukuran Alat di Laboratorium Antena dan Propagasi Ruang B.306  
ITS..... 89

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1.</b> Spesifikasi Rancangan untuk <i>Power Combiner/Divider</i> .....	30
<b>Tabel 3.2.</b> Spesifikasi PCB .....	30
<b>Tabel 4.1.</b> Data <i>Return Loss</i> pada <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	53
<b>Tabel 4.2.</b> Data <i>Return Loss</i> pada <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	57
<b>Tabel 4.3.</b> Data <i>Insertion Loss</i> pada <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	61
<b>Tabel 4.4.</b> Data <i>Insertion Loss</i> pada <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	66
<b>Tabel 4.5.</b> Data <i>Isolation Loss</i> pada <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	69
<b>Tabel 4.6.</b> Data <i>Isolation Loss</i> pada <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	75
<b>Tabel 4.7.</b> Data VSWR pada <i>Power Combiner/Divider 1 to 2</i> .....	78
<b>Tabel 4.8.</b> Data VSWR pada <i>Power Combiner/Divider 1 to 3</i> .....	82

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi Radar (*Radio Detection and Ranging*) dari tahun ke tahun semakin berkembang. Penggunaan radar yang mampu mendeteksi objek menyebabkan radar banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor kebutuhan. Salah satu contoh teknologi *radio frequency* (RF) ini dapat digunakan dalam bidang telekomunikasi, medis, dan militer. Pada hakikatnya, sistem komunikasi melalui gelombang radio adalah mengkonsentrasikan energi ke arah yang diinginkan.

Sistem radar menetapkan karakteristik target melalui radiasi gelombang elektromagnetik terhadap target kemudian menganalisa gelombang pantul terhadap radar penerima. Lokasi target dapat ditemukan dari orientasi *beam* antenna. Di saat target terdeteksi, posisi pola *main lobe* antenna menerangkan lokasi target dalam akurasi *beamwidth*. Dalam rangka menentukan lokasi yang akurat, antenna radar harus memiliki *main beamwidth* yang jauh, yang berarti antenna dengan gain/direktivitas tinggi, dan *beam* harus dapat bergerak di jangkauan radar. Teknik *array* adalah salah satu teknik yang sering digunakan untuk mempersempit *beamwidth* sehingga radar dapat menjadi lebih akurat dalam mendeteksi target. Pada antenna *array*, pendistribusian sinyal setiap elemen memerlukan *power combiner/divider*. *Power combiner/divider* menyalurkan sinyal dari saluran transmisi atau rute sinyal ke saluran transmisi lainnya. Sinyal yang keluar melalui *power combiner/divider* ini nantinya masuk ke *phase shifter* sehingga fase sinyal dapat digeser ke arah yang diinginkan untuk mendeteksi target. Namun sayangnya, *power combiner/divider* seringkali didapatkan dari luar negeri dengan harga yang relatif mahal [1].

Untuk mendapatkan *gain* dan akurasi deteksi objek yang tinggi serta *beamwidth* yang sempit dalam sistem pengiriman dan penerimaan sinyal dari antenna, maka kinerja *power combiner/divider* sangat ditentukan oleh proses perancangan dan perealisasiannya yang tepat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan *power combiner/divider* yang bekerja dengan baik.

Pada laporan tugas akhir ini dibuatlah *power combiner/divider 1 to 2* dan *power combiner/divider 1 to 3* dengan menggunakan bahan *print circuit board* (PCB) jenis FR4 untuk aplikasi sistem radar berbasis *software defined radio* (SDR). Metode yang digunakan untuk merealisasikan *power*

*combiner/divider* yaitu metode Wilkinson dan mempunyai struktur mikrostrip. Metode ini dipilih dikarenakan memiliki efisiensi 100%. Spesifikasi yang harus dipenuhi adalah frekuensi kerja 3 GHz, dengan VSWR maksimum 1.5, *return loss*  $\leq -10$  dB, *insertion loss* -3 dB untuk *power combiner/divider 1 to 2* dan -4.77 dB untuk *power combiner/divider 1 to 3* dengan toleransi  $\leq 0.5$  dB. *Power combiner/divider* ini terbuat dengan *full ground plane* dan *patch* dari tembaga.

## 1.2 Permasalahan

Beberapa permasalahan yang mendasari tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana perencanaan dalam membuat *power combiner/divider* untuk antenna mikrostrip *array* dalam penggunaan radar berbasis SDR pada frekuensi *S Band*.
2. Bagaimana desain *power combiner/divider* dengan menggunakan *software Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST MWS)*.
3. Bagaimana hasil fabrikasi dan perbandingannya dengan hasil simulasi pada *software*.

Agar penelitian tidak menyimpang dari permasalahan maka penulis membatasi masalah sebagai berikut :

1. Desain *power combiner/divider* akan digunakan pada antenna *array* yang berbentuk mikrostrip.
2. Frekuensi kerja *power combiner/divider* harus dapat bekerja di frekuensi 3 GHz sehingga dapat diterapkan pada antenna *array* mikrostrip pita S.
3. Proses simulasi desain *power combiner/divider* menggunakan *software CST MWS*.
4. Metode yang diterapkan pada *power combiner/divider* adalah Wilkinson dengan dua desain, yaitu *power combiner/divider 1 to 2* dan *power combiner/divider 1 to 3*.
5. Pengujian kinerja *power combiner/divider* hasil desain pada *software* maupun fabrikasi meliputi : VSWR ( $\leq 1.5$ ), *insertion loss* (-3 dB untuk *power combiner/divider 1 to 2* dan -4.77 dB untuk *power combiner/divider 1 to 3*) dengan toleransi  $\leq 0.5$  dB), dan *return loss* ( $\leq -10$  dB) yang dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS dan LIPI Bandung.
6. Bahan implementasi *power combiner/divider* dilakukan pada substrat FR4 (permitivitas bahan 4,3 dan ketebalan 1.6 mm) dan *patch* tembaga (ketebalan 0.035 mm).

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk :

1. Melakukan perancangan dan pembuatan *power combiner/divider* yang bekerja pada frekuensi 3 GHz untuk sistem komunikasi radar pada pita S.
2. Melakukan pengujian dan analisis kinerja *power combiner/divider* dari hasil simulasi *software* dan hasil dari fabrikasi.

### 1.4 Metodologi

Metode Penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini terbagi menjadi lima tahap sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Mempelajari teori dasar yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir sebagai langkah awal, termasuk *paper* acuan untuk melakukan perancangan *power combiner/divider* [2].

#### 2. Simulasi Referensi Rancangan *Power Combiner/Divider*

Melakukan analisis awal dengan mensimulasikan rancangan *power combiner/divider* yang ada pada *paper* referensi yang tepat. Segala aspek yang disimulasikan sengaja dibuat sama dengan *paper* referensi agar memperoleh hasil yang sama dari *paper*. Hal ini bertujuan untuk memahami konsep *power combiner/divider* secara *real* dalam *software*.

#### 3. Analisis Hasil Simulasi Referensi

Menganalisis *scattering parameter*, *return loss*, *insertion loss*, dan VSWR yang dihasilkan rancangan *power combiner/divider* dari *paper* referensi. Hasil yang disimulasikan bisa jadi tidak sama persis antara yang tercantum pada *paper* dengan hasil simulasi, hal ini dikarenakan adanya hal-hal yang sengaja tidak ditunjukkan pada *paper* yang merupakan kunci dari penulis *paper* agar karyanya tidak mudah ditiru. Oleh karena itu, dilakukan beberapa uji coba pada pengaturan dimensi untuk mencari aspek tersebut.

#### 4. Modifikasi Rancangan *Power Combiner/Divider*

Proses modifikasi dilakukan dengan cara mengubah pemakaian substrat menjadi FR4, mengubah ukuran dimensi berdasarkan hitungan secara teoritis yang didapat dari studi literatur, pemberian

jarak antar *output*, dan menambahkan *full ground plane* pada bagian belakang *power combiner/divider*.

5. **Simulasi Hasil Modifikasi *Power Combiner/Divider***

Hasil modifikasi rancangan *power combiner/divider* yang dihasilkan disimulasikan dengan *software*.

6. **Analisis Hasil Simulasi Modifikasi**

Menganalisis *scattering parameter*, *return loss*, *insertion loss*, dan VSWR yang dihasilkan oleh rancangan modifikasi *power combiner/divider*. Hasil yang diperoleh disesuaikan dengan spesifikasi yang ingin dicapai, seperti performa frekuensi kerja pada 3 GHz apakah memenuhi *return loss*  $\leq -10$  dB, *insertion loss* -3 dB untuk *power combiner/divider 1 to 2* dan -4.77 dB untuk *power combiner/divider 1 to 3* dengan toleransi  $\leq 0.5$  dB, serta VSWR  $\leq 1.5$ .

7. **Fabrikasi Rancangan *Power Combiner/Divider***

Melakukan fabrikasi terhadap rancangan *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* dengan substrat FR4 dan *full ground plane* dengan bahan tembaga..

8. **Pengukuran Hasil Fabrikasi**

Melakukan pengukuran hasil fabrikasi menggunakan *hardware network analyzer* (NA). Parameter yang diukur adalah *scattering parameter* dan *bandwidth* yang dihasilkan.

9. **Analisis Hasil Fabrikasi**

Melakukan analisis terhadap hasil fabrikasi yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi pada *software*. Apabila hasil pengujian belum sesuai maka diperlukan perancangan ulang.

10. **Penulisan Laporan Tugas Akhir**

Pada tahap ini, proses pengumpulan data hasil simulasi dan hasil pengukuran langsung diolah untuk disusun menjadi sebuah buku laporan sebagai hasil pengerjaan tugas akhir.

## 1.5 Sistematika Laporan

Pembahasan dalam tugas akhir ini akan dibagi dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika laporan, dan relevansi.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tinjauan pustaka yang akan membahas tentang Sistem Radar, *Software Defined Radio*, Frekuensi *S Band*, Antena Mikrostrip Array, *Power Combiner/Divider*, Parameter Pengukuran *Power Combiner/Divider*, dan Instrumen Perancangan dan Pengukuran.

### **BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah dalam membuat desain *power combiner/divider*, simulasi desain pada *software*, dan realisasi desain menjadi alat yang siap dianalisis.

### **BAB IV PENGUKURAN KINERJA DAN ANALISIS DATA**

Pada bab ini akan ditampilkan hasil pengukuran simulasi maupun fabrikasi, kemudian dilakukan analisis dari data yang telah diperoleh berdasarkan rumusan masalah.

### **BAB V PENUTUP**

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran berdasarkan yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

## 1.6 Relevansi

Hasil yang didapat dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang perancangan *Wilkinson Power Combiner/Divider 1 to 2* dan *1 to 3* yang dapat dipakai pada penelitian selanjutnya.



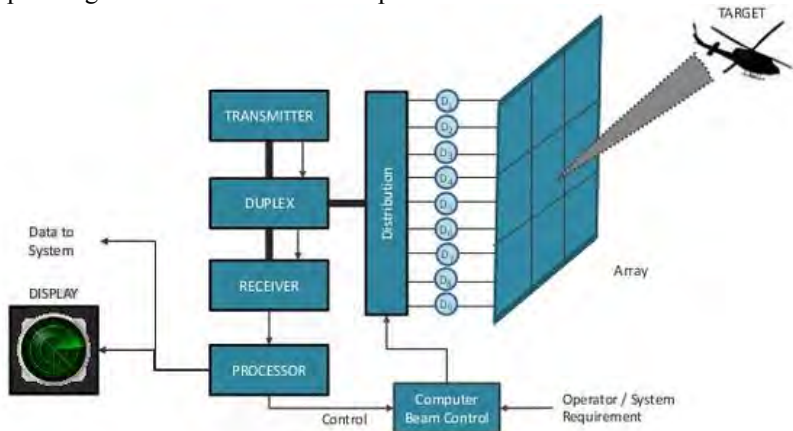
2. Desain *power combiner/divider* ini dapat diimplementasikan pada komunikasi dan radar yang menggunakan rentang frekuensi *S Band*.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Radar [3]

Radar kependekan dari *Radio Detection and Ranging*. Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur jarak, dan membuat peta benda-benda seperti pesawat, kendaraan bermotor, dan informasi cuaca. Panjang gelombang yang dipancarkan radar adalah beberapa milimeter hingga satu meter. Gelombang radio/sinyal yang dipancarkan dari suatu benda dapat ditangkap oleh radar kemudian dianalisa untuk mengetahui lokasi dan bahkan jenis benda tersebut. Meskipun sinyal yang diterima relatif lemah, namun sinyal radio tersebut dapat dengan mudah dideteksi dan diperkuat oleh radar.

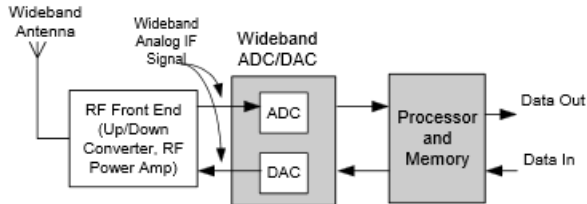


**Gambar 2.1** Prinsip Kerja Radar

Sistem radar mempunyai tiga komponen utama, yakni antena, *transmitter* (pemancar sinyal), dan *receiver* (penerima sinyal). Radar pada umumnya beroperasi dengan menyebar elektromagnetik terbatas di dalam piringan yang bertujuan untuk menangkap sinyal dari benda yang melintas pada daerah tangkapan dengan sudut tertentu. Ketika suatu benda masuk dalam daerah tangkapan antena, maka sinyal yang ditangkap akan diteruskan ke pusat sistem radar dan akan diproses hingga benda tersebut nantinya akan tampak dalam layar *display*.

## 2.2 Software Defined Radio [4]

*Software Defined Radio* (SDR) atau biasa disebut *software-radio* adalah sebuah teknologi yang muncul untuk membangun sistem radio yang fleksibel, *multiservice*, *multistandard*, *multiband*, *reconfigurable*, dan *reprogrammable* dengan menggunakan *software*.



**Gambar 2.2** Arsitektur Ideal SDR

SDR memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah mampu beradaptasi ke setiap jenis sistem radio yang ada dengan pemakaian *multiband* dan *multistandard*. Untuk pembuatan sistem radio yang baru juga tidak diperlukan penambahan atau pun penggantian *hardware* yang rumit, karena cukup dengan penambahan *software* saja yang dimuat ke dalam *Digital Signal Processor* (DSP). Pemilihan sistem radio yang dikehendaki dapat dilakukan dengan perubahan yang mudah dan sederhana yaitu cukup mengaktifkan sistem radio yang dikehendaki tersebut, begitu pula pengembangan untuk jenis sistem radio dan *service* yang baru mudah untuk diaplikasikan. Dengan aplikasi SDR, memungkinkan ukuran *hardware* yang lebih praktis dengan kemampuan kapasitas yang cukup banyak. Selain itu, sistem SDR mampu mendukung pengembangan sistem komunikasi radio yang lebih maju.

## 2.3 Frekuensi S Band [5]

*S Band* merupakan bagian dari pita gelombang mikro dari spektrum elektromagnetik yang berasal dari nama *short wave*. Hal ini didefinisikan oleh standar IEEE untuk gelombang radio dengan frekuensi berkisar dari 2 sampai 4 GHz, melintasi batas konvensional antara *Ultra High Frequency* (UHF) dan *Super High Frequency* (SHF) di 3 GHz.

*S Band* digunakan pada radar cuaca, radar kapal permukaan, dan beberapa satelit komunikasi. Kelebihan *S Band* terletak pada ketahanannya terhadap perubahan cuaca (seperti hujan deras dan awan tebal), namun

memiliki kelemahan dimana rentan *noise* dari sinyal *Wi-Fi* yang berada pada frekuensi 2.4 dan 5.2 GHz untuk wilayah Indonesia.

Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band
30-300 Hz	10 – 1 Mm	ELF (extremely low frequency)
300-3000 Hz	1 Mm – 100 km	
3-30 kHz	100 – 10 km	VLF (very low frequency)
30-300 kHz	10 – 1 km	LF (low frequency)
300-3000 kHz	1 km – 100 m	MF (medium frequency)
3-30 MHz	100 – 10 m	HF (high frequency)
30-300 MHz	10 – 1 m	VHF (very high frequency)
300-3000 MHz	1 m – 10 cm	UHF (ultra high frequency)
3-30 GHz	10 – 1 cm	SHF (super high frequency)
30-300 GHz	1 cm – 1 mm	EHF (Extremely high frequency)
300-3000 GHz	1 mm – 100 $\mu$ m	
Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band menurut IEEE
1 – 2 GHz	30 – 15 cm	L
2 – 4 GHz	15 – 7.5 cm	S
4 – 8 GHz	7.5 – 3.75 cm	C
8 – 12 GHz	3.75 – 2.5 cm	X
12 – 18 GHz	2.5 – 1.67 cm	Ku
18 – 27 GHz	1.67 – 1.11 cm	K
27 – 40 GHz	1.11 – 7.5 cm	Ka
40 – 300 GHz	7.5 – 1.0 mm	mm

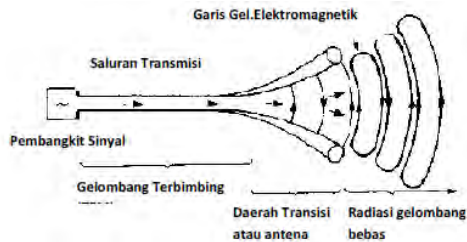
**Gambar 2.3** Pembagian Frekuensi Radio

## 2.4 Antena Mikrostrip Array

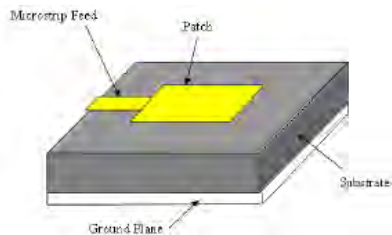
### 2.4.1 Antena Mikrostrip

Antena merupakan suatu alat yang dapat mengubah besaran listrik dari saluran transmisi menjadi suatu gelombang elektromagnetik untuk diradiasikan ke udara bebas. Sebaliknya, antena juga dapat menangkap gelombang elektromagnetik dari udara bebas untuk kemudian dijadikan besaran listrik kembali melalui saluran transmisi [6].

Antena mikrostrip merupakan antena dengan tiga lapisan, yaitu *conducting patch*, *dielectric substrate*, dan *ground plane*. Masing-masing dari bagian ini memiliki fungsi yang berbeda.

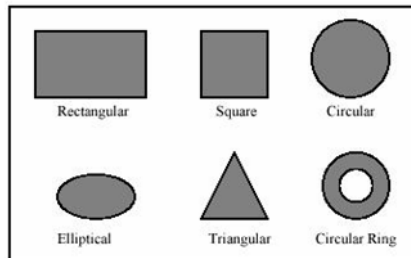


**Gambar 2.4** Konsep Dasar Antena



**Gambar 2.5** Antena Mikrostrip

*Conducting patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara, terletak paling atas dari keseluruhan sistem antena. Biasanya *patch* terbuat dari bahan konduktor seperti tembaga. Bentuk *patch* dapat berupa lingkaran, *rectangular*, segitiga, *circular ring*, atau lainnya.



**Gambar 2.6** Bentuk *Patch* Antena Mikrostrip

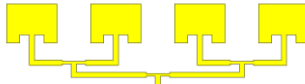
*Dielectric substrate* berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan. Karakteristik substrat sangat berpengaruh pada besar parameter antena. Pada antena mikrostrip, semakin tinggi permitivitas relatif, ukuran *conducting patch* akan semakin kecil dan sebagai akibatnya memperkecil daerah radiasi. Pengaruh ketebalan *dielectric substrate* terhadap

parameter antenna adalah pada *bandwidth*. Penambahan ketebalan *dielectric substrate* akan memperbesar *bandwidth*, namun berpengaruh terhadap timbulnya *surface wave*. *Ground plane* antenna mikrostrip dapat terbuat dari bahan konduktor, dimana berperan sebagai reflektor dari gelombang elektromagnetik.

Kelebihan menggunakan antenna mikrostrip adalah *low profile*, ringan, *low fabrication*, dapat menghasilkan polarisasi sirkular maupun linier, dapat dibuat *compact* sehingga cocok untuk sistem komunikasi *mobile*, dan dapat beroperasi pada *single*, *dual*, ataupun *multiband*. Sebaliknya, kelemahan penggunaan antenna mikrostrip adalah *bandwidth* yang sempit, *gain* yang rendah, dan kemampuan pengaturan daya yang rendah.

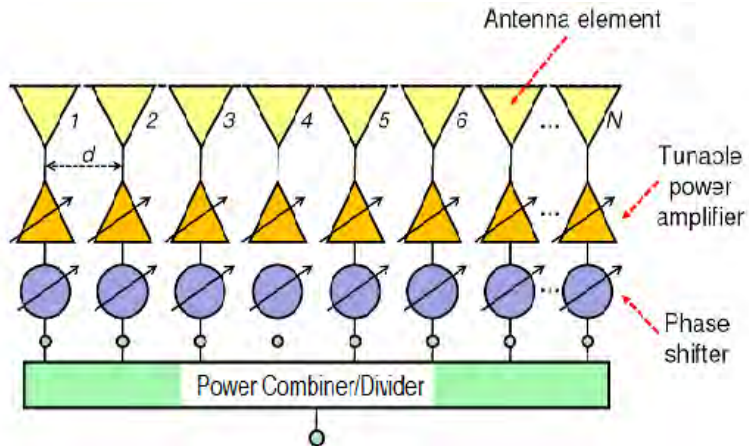
#### 2.4.2 Phased Array Antenna [1]

Antena *array* adalah susunan dari beberapa antenna yang identik. Perancangan antenna *array* digunakan untuk mendapatkan *gain* yang lebih tinggi dan pola radiasi atau HPBW yang lebih sempit. Dalam antenna mikrostrip *patch*, yang disusun secara *array* adalah bagian *patch*. Medan total dari antenna *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk membentuk pola yang memiliki keterarahan tertentu, diperlukan medan dari setiap elemen *array* berinterferensi secara konstruktif pada arah yang diinginkan dan berinterferensi secara destruktif pada arah yang lain.



**Gambar 2.7** Contoh Antena Mikrostrip *Array* 4 Elemen

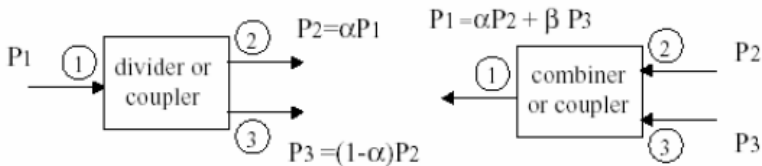
Antena *phased array* tersusun dari banyak elemen antenna dengan *phase shifter*. *Beam* terbentuk dengan menggeser sinyal yang dipancarkan dari setiap elemen antenna untuk memberikan interferensi agar sesuai dengan arah yang diinginkan. *Phase shifters* berperan untuk mengubah fase sinyal pada saluran transmisi dengan mempengaruhi *delay* fase diantara  $0^\circ$  hingga  $360^\circ$ . Sehingga, *beam* antenna dapat ditentukan mengarah ke lokasi tertentu. Idealnya, amplitudo sinyal melewati *phase shifter* adalah sama untuk semua kondisi fase. Sebelum fase sinyal digeser, sinyal masuk melalui *power combiner/divider*. Dengan *power combiner/divider*, sinyal yang datang dari *port input* terpecah menjadi beberapa keluaran sebelum masuk ke *phase shifter*, atau sinyal tergabung menjadi satu keluaran sehingga dapat bekerja pada antenna penerima radar.



**Gambar 2.8** Blok Diagram *Front-End Radar* menggunakan *Antenna Phased Array*

## 2.5 Power Combiner / Power Divider [6]

*Power combiner/divider* adalah perangkat yang sangat penting dalam pengiriman sinyal. Hal ini dikarenakan *power combiner/divider* merupakan komponen pasif *microwave* yang digunakan untuk menggabungkan daya (*power combiner*) dan membagi daya (*power divider*) karena baik *port input* maupun *port output*-nya *match*. Dengan kata lain perangkat ini berperan sebagai *reciprocal passive device*.



**Gambar 2.9** *Power Divider* dan *Power Combiner*

Perangkat ini sering digunakan untuk sinyal yang berdaya tinggi. Pada umumnya, perangkat ini menghasilkan amplitudo dan pembagian fase yang sama besar. Dalam aplikasi pada frekuensi gelombang mikro, ada kalanya daya yang ditransfer ke *port output* akan dipantulkan kembali. Untuk menghindarinya, *port output* harus dibuat saling *match*. Jika kondisi *match* tidak diperoleh, maka akan terjadi pengurangan daya akibat pantulan. Hal

yang bisa dilakukan untuk mengatasinya adalah dengan meminimalisasi pantulan tersebut dengan mengupayakan semua *port output* saling *match*.

### 2.5.1 **Wilkinson Power Combiner / Power Divider [6]**

Salah satu metode *power combiner/divider* yang sering digunakan adalah Wilkinson. Wilkinson *power combiner/divider* berfungsi menggabungkan atau membagi sinyal masukan menjadi beberapa sinyal keluaran dengan fasa yang sama. Prinsip utamanya adalah menyediakan isolasi tinggi antar output dengan membatasi efek dari refleksi sinyal. Metode ini dapat direalisasikan dalam teknologi mikrostrip dengan menggunakan transformasi  $\lambda/4$  guna mengubah *input* impedansi yang umumnya  $50\ \Omega$  menjadi impedansi *output* yang direpresentasikan dengan kombinasi paralel dari *multiple output*. Dengan Wilkinson, isolasi diantara *port output* dapat menjadi *match* di setiap *port* sehingga menjadi *lossless*.

Jenis *power combiner/divider* ini memiliki empat bagian, yaitu :

1. *Input port*
2. *Quarter-wave transformers*
3. *Isolation resistors*
4. *Output ports*

Desain Wilkinson tersusun dari *saluran transmisi* (khususnya mikrostrip atau *stripline*) yang akan terbagi menjadi cabang *saluran transmisi*, masing-masing sepanjang  $\lambda/4$ . Sebuah piringan pendek juga digunakan pada *input* untuk dihubungkan dengan setiap *saluran transmisi*. Wilkinson menambahkan resistor untuk mengupayakan output yang saling *match* dan mengisolasi antar port pada frekuensi tengah. Keuntungannya adalah resistor tidak menimbulkan *resistive loss* pada *power combiner/divider* sehingga idealnya Wilkinson *power combiner/divider* memiliki efisiensi 100%. Resistor dihubungkan diantara masing-masing *saluran transmisi* dekat *port output* dan dasar percabangan. Ketika *output* yang terhubung ke beban saling *match* untuk *equal split Wilkinson*, tegangan sepanjang masing-masing jalur transmisi *output* adalah sama untuk magnitudo dan fasanya. Hal inilah yang menyebabkan resistor yang menghubungkan semua *port output* tidak memiliki tegangan jatuh, sehingga tidak ada disipasi daya.

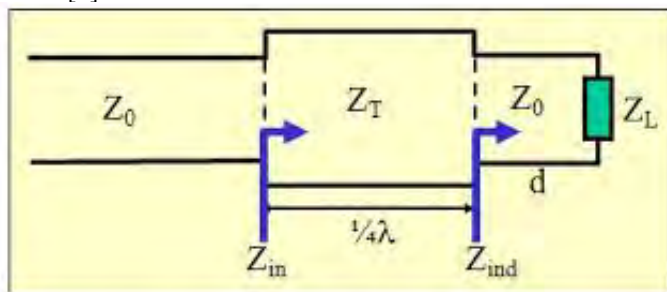
Wilkinson *power combiner/divider* juga mampu menangani pantulan dalam sistem secara efektif. Pantulan pada *port output* pada dasarnya ekuivalen dengan sinyal pada *port output*. Sinyal yang dipantulkan menuju kembali pada *port output* lainnya melalui dua jalur, yaitu melalui resistor dan melalui percabangan pada awal *input*.



Dikarenakan saluran transmisi adalah  $\lambda/4$ , sinyal melalui resistor akan sampai pada fase yang spesifik. Sedangkan saat sinyal menuju dua kali  $\lambda/4$  (pergeseran fasa dua kali  $90^\circ$ ) sampai diluar fase  $180^\circ$ , maka sinyalnya akan hilang. Jika dua sinyal dengan fasa dan amplitudo yang sama diterapkan secara bersamaan ke setiap *port output* dari *equal split Wilkinson*, jumlah sinyal yang akan diamati adalah pada *port input*. Karena sinyal memiliki amplitudo dan fasa yang sama, resistor akan berpotensi pada setiap *port*, dan tidak akan ada daya yang hilang. Sekali sinyal sampai pada percabangan, sinyal akan mengganggu, dan *power divider* akan berperan sebagai *power combiner*.

### 2.5.2 Power Combiner / Power Divider 1 to 2 dan 1 to 3

Secara desain, *power combiner/divider 1 to 2* adalah *power combiner* dengan dua *port input* dan satu *port output* atau bisa juga *power divider* dengan satu *port input* dan dua *port output*. Banyak perangkat dan saluran transmisi memiliki impedansi karakteristik  $50\ \Omega$ , sehingga banyak antenna yang didesain untuk memiliki impedansi  $50\ \Omega$ . Pada gambar (2.11) dijelaskan bahwa impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) pada *port 1* adalah sebesar  $50\ \Omega$ . Besar  $Z_0$  dipilih karena disesuaikan dengan nilai impedansi karakteristik untuk antenna mikrostrip yang akan digunakan. Saluran transmisi sepanjang  $\lambda/4$  diletakkan sebagai penghubung antara  $Z_0$  dengan impedansi beban ( $Z_L$ ) *port 2 dan 3* [8].



**Gambar 2.10** Struktur *transformator* seperempat panjang gelombang

Penyesuaian impedansi adalah proses penyesuaian impedansi karakteristik pada saluran transmisi ( $Z_0$ ). Jika impedansi beban ( $Z_L$ ) dan impedansi karakteristik pada saluran transmisi catu daya mempunyai perbedaan impedansi maka diperlukan penyesuaian impedansi pada saluran transmisi. Penyesuaian impedansi penting karena apabila impedansi tidak

sesuai akan muncul gelombang pantul pada saluran transmisi. Salah satu metode penyesuaian impedansi adalah dengan transformator seperempat panjang gelombang. Transformator seperempat panjang gelombang adalah teknik penyesuaian impedansi dengan menambahkan saluran transmisi dengan panjang tertentu ( $l$ ) dengan besar impedansi tertentu ( $Z_T$ ) diantara dua saluran transmisi.

Pada gambar (2.10), dapat diamati untuk transformator  $\lambda/4$ , impedansi input ( $Z_{in}$ ) saluran transmisi seperempat panjang gelombang berasal dari [8]:

$$Z_{in}(d) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta d)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta d)} \quad (1.1)$$

$$Z_{in} \left( d = \frac{\lambda}{4} \right) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi\lambda}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4}\right)}{Z_0 + jZ_L \tan\left(\frac{2\pi\lambda}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4}\right)} = \frac{Z_0^2}{Z_L} \quad (1.2)$$

$$Z_0 = \sqrt{Z_L Z_{in}} \quad (1.3)$$

Keterangan :

$Z_{in}$  = Impedansi input yang masuk ke transformator  $\lambda/4$  ( $\Omega$ )

$Z_0$  = Impedansi karakteristik transformator  $\lambda/4$  ( $\Omega$ )

$Z_L$  = Impedansi beban yang terhubung ke transformator  $\lambda/4$  ( $\Omega$ )

Setelah mendapatkan persamaan (1.3) dan dengan melihat gambar 2.11, dimana pada *power combiner/divider* memiliki 2 *port output*, maka syarat agar *matched* antara  $Z_{in}$  dan  $Z_L$  adalah  $Z_{in} = Z_L$ , dimana  $Z_{in} = 50 \Omega$  (diasumsikan *port 1*) dan  $Z_L = 50 \Omega$  untuk masing-masing *port 2* dan *port 3*. Dikarenakan beban pada *power combiner/divider* tergantung dari jumlah percabangan, maka untuk *power combiner/divider 1 to 2* akan memiliki :

$$Z_0 \left( \frac{\lambda}{4} \right) = \sqrt{Z_L Z_{in}} = \sqrt{2Z_{in} \cdot Z_{in}} = \sqrt{2} Z_{in} \quad (1.4)$$

Oleh karena itu, besar impedansi transformator ( $Z_T$ ) dapat ditentukan dengan rumus [6] :

$$Z_T = \sqrt{n} Z_0 \quad (1.5)$$

dimana  $n$  adalah jumlah cabang *power combiner/divider*.

Dari persamaan (1.5), maka nilai  $Z_T$  untuk *power combiner/divider 1 to 2* adalah :

$$Z_T = \sqrt{n} Z_0 = \sqrt{2} \cdot 50 = 70.71 \Omega$$

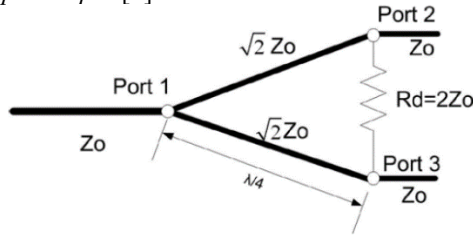
Di akhir masing-masing saluran transmisi terdapat satu resistor sebesar [7]:

$$R_d = 2Z_0 \quad (1.6)$$

sehingga :

$$R_d = 2Z_0 = 2 \cdot 50 = 100 \Omega$$

Resistor inilah yang berperan untuk menjaga daya agar tidak ada yang hilang. Sehingga *port 2* dan *port 3* akan saling *matched*. Performansi sempurna dari *power combiner/divider 1 to 2* adalah pembagian daya sebesar 3 dB untuk masing-masing *port output* [2].

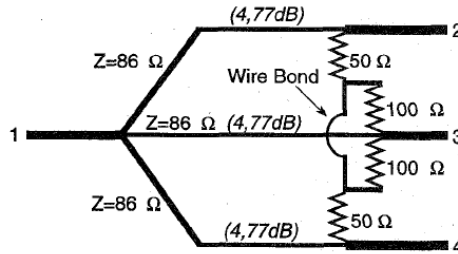


**Gambar 2.11** Rangkaian Sederhana *Power Combiner/Divider 1 to 2*

*Power combiner/divider 1 to 3* adalah *power combiner* dengan tiga *port input* dan satu *port output* atau bisa juga *power divider* dengan satu *port input* dan tiga *port output*. Perbedaan mendasar antara *power combiner/divider 1 to 2* dengan *1 to 3* terletak pada jumlah *port output* yang mengakibatkan nilai impedansi transformator pembagian daya menjadi ikut berbeda [15]. Dengan persamaan (1.5) maka akan didapat :

$$Z_T = \sqrt{n} Z_0 = \sqrt{3} \cdot 50 = 86.60 \Omega$$

dan pembagian daya sebesar 4.77 dB untuk masing-masing *port output*.



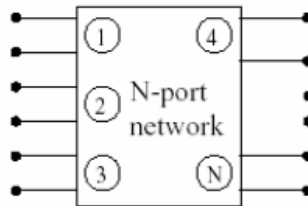
**Gambar 2.12** Contoh Rangkaian *Power Combiner/Divider* 1 to 3

## 2.6 Parameter Performansi *Power Combiner / Power Divider*

Pada respon *power combiner/divider*, terdapat beberapa hal yang perlu diamati dan dianalisis untuk mengetahui kinerja dari suatu *power combiner/divider* apakah baik atau tidak. Parameter performansi yang harus diperhatikan diantaranya adalah sebagai berikut :

### 2.6.1 *Scattering Parameter*

*Scattering matrix*, atau *scattering parameter* digunakan untuk menghubungkan tegangan gelombang yang dikirimkan dan tegangan gelombang pantul dengan mempertimbangkan besar magnitudo dan fasanya. *Power combiner/divider* dapat dijadikan rangkaian ekuivalen *n-port network* seperti yang diilustrasikan sebagai berikut [7] :



**Gambar 2.13.** Rangkaian Ekuivalen *N-Port Network*

Rangkaian ekuivalen pada gambar (2.13) jika di dalam *S-matrix*, tegangan gelombang pantul disimbolkan dengan  $V^-$  dan tegangan gelombang yang dikirimkan disimbolkan sebagai  $V^+$  yang dapat ditulis sebagai berikut [16] :

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \\ \vdots \\ V_N^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N} \\ S_{21} & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{N1} & S_{N2} & \cdots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \\ \vdots \\ V_N^+ \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

$$\text{dan dapat disederhanakan menjadi } [V^-] = [S][V^+] \quad (1.8)$$

Dengan menggunakan persamaan ini, setiap elemen dari *S-matrix* dapat diturunkan secara tepat sesuai dengan tegangan yang dipantulkan. Persamaan umum untuk *S-matrix* dapat didefinisikan sebagai :

$$S_{ij} = \left. \frac{V_i^-}{V_j^+} \right|_{V_k^+ = 0 \text{ untuk } k \neq j} \quad (1.9)$$

Selain itu, gelombang yang dikirimkan pada semua *port*, selain *port j*, ditetapkan sama dengan nol. Sebuah *vector network analyzer* biasanya digunakan untuk mengukur parameter ini.

Saat *power combiner/divider matched* di semua *port output*, hal ini mengindikasikan bahwa impedansi *input* yang ada di setiap *port* adalah sama seperti impedansi karakteristik sistem. Impedansi ekuivalen ini menghasilkan koefisien refleksi sama dengan nol, yang artinya bahwa setiap gelombang yang dikirimkan pada *port* yang *matched* tidak akan dipantulkan, atau keluar dari *port*. Dengan demikian, tegangan pantul pada *matched port* sama dengan nol.

Dengan menerapkan persamaan (1.9) pada *port* yang *matched* (dimana elemen *S-matrix* adalah  $i=j$ ) dan dengan mengetahui bahwa tegangan gelombang pantul sama dengan nol, maka jelas bahwa elemen *S-matrix* juga sama dengan nol. Untuk lebih jauh, hal ini menjelaskan bahwa ketika perangkat *matched* di setiap *port*, maka elemen diagonal dari *S-matrix* menjadi sama dengan nol.

Karakteristik dasar yang ditemukan pada *power combiner/divider* adalah kemampuannya yang dapat *reciprocal*. Perangkat *reciprocal* adalah salah satu dimana daya yang ditransmisikan diantara dua *port* dalam jaringan atau perangkat adalah sama, terlepas arah propagasinya melalui jaringan atau perangkat. Untuk perangkat *reciprocal* berlaku persamaan :

$$S_{ij} = S_{ji} , \text{ untuk semua } i \text{ dan } j \quad (1.10)$$

Berdasarkan pada hubungan antara elemen *S-matrix* dari perangkat *reciprocal*, perangkat *reciprocal* memiliki *S-matrix* yang simetris, atau *S-matrix* adalah sama dengan *transpose matrix*-nya.

Sifat lainnya dari *S-matrix* adalah seberapa banyak *loss* yang dapat ditunjukkan ke perangkat itu sendiri. Idealnya, sebuah *power combiner/divider* yang *lossless* akan digunakan dalam sebuah sistem, namun bagaimana pun hanya *low-loss power combiner/divider* yang dapat direalisasikan. Hal ini telah ditunjukkan dalam beberapa kesempatan, terutama oleh Pozar [5], bahwa jika *S-matrix* pada sebuah perangkat adalah kesatuan, maka perangkat tersebut adalah *lossless*. Dengan demikian sebuah perangkat *lossless* berlaku persamaan :

$$[S]^t [S]^* = [I] \quad (1.11)$$

dimana *I* adalah matriks identitas, dengan *t* merepresentasikan *transpose matrix* dan *\** merepresentasikan matriks konjugat. Untuk lebih jauh, kesatuan matriks mengindikasikan bahwa penjumlahan kotak dari elemen pada kolom matriks adalah sama dengan satu.

*Power combiner/divider* yang ideal adalah *lossless*, atau *low-loss*, *reciprocal*, dan mudah *matched* pada masing-masing *port*, namun bagaimana pun juga hal ini tidak dimungkinkan.

Sebagai salah satu contohnya untuk mendemonstrasikan bahwa *power combiner/divider 1 to 2* tidak dapat *lossless*, *reciprocal*, dan *matched*, dengan mempertimbangkan *S-matrix* pada umumnya, maka akan berlaku :

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \quad (1.12)$$

Pertama, perangkat diasumsikan untuk *matched* pada semua *port* dan *reciprocal*. Berdasarkan pada definisi untuk masalah *matched* dan *reciprocal* dan bagaimana cara menerapkannya pada *S-matrix*, maka *S-matrix* pada *power combiner/divider 1 to 2* menjadi :

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & 0 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & 0 \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

Untuk kondisi *lossless* agar menjadi benar, matriks pada persamaan (1.13) harus kesatuan dan memenuhi :

$$|S_{12}|^2 + |S_{13}|^2 = 1 \quad (1.14)$$

$$|S_{12}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \quad (1.15)$$

$$|S_{13}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \quad (1.16)$$

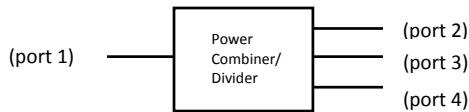
$$S_{13}^* S_{23} = 0 \quad (1.17)$$

$$S_{23}^* S_{13} = 0 \quad (1.18)$$

$$S_{12}^* S_{13} = 0 \quad (1.19)$$

Hal ini berarti bahwa setiap elemen  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ , dan  $S_{23}$ , dua diantaranya haruslah sama dengan nol dalam maksud untuk memenuhi persamaan (1.17) – (1.19). Untuk menganalisa ini  $S_{12}$  dan  $S_{13}$  diatur sama dengan nol. Bagaimana pun, dengan mengatur  $S$ -Parameter sama dengan nol, persamaan (1.14) tidak dapat terpenuhi ( $0 \neq 1$ ). Konsekuensinya, ketika dua elemen dari  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ , dan  $S_{23}$  sama dengan nol, salah satu dari persamaan (1.14) – (1.16) tidak dapat terpenuhi, hal ini membuat *matched*, *reciprocal*, *three port lossless power combiner/divider* dapat dimungkinkan.

Konsep  $S$ -Parameter untuk Wilkinson *power combiner/divider* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



All ports matched :  $|S_{11}| = |S_{22}| = |S_{33}| = |S_{44}| = 0$

Output power split :  $|S_{21}| = |S_{31}| = \frac{1}{\sqrt{2}}$  untuk 1 to 2

:  $|S_{21}| = |S_{31}| = |S_{41}| = \frac{1}{\sqrt{3}}$  untuk 1 to 3

Output ports isolated :  $|S_{23}| = |S_{32}| = |S_{24}| = |S_{42}| = |S_{34}| = |S_{43}| = 0$

**Gambar 2.14.** Konsep S-Parameter dalam Wilkinson Power Combiner/Divider

Keterangan gambar :

$S_{11}$  = daya yang dipantulkan dari *port* 1

$S_{12}$  = daya yang disalurkan dari *port* 1 ke *port* 2  
 $S_{13}$  = daya yang disalurkan dari *port* 1 ke *port* 3  
 $S_{14}$  = daya yang disalurkan dari *port* 1 ke *port* 4  
 $S_{21}$  = daya yang disalurkan dari *port* 2 ke *port* 1  
 $S_{22}$  = daya yang dipantulkan dari *port* 2  
 $S_{23}$  = daya yang disalurkan dari *port* 2 ke *port* 3  
 $S_{24}$  = daya yang disalurkan dari *port* 2 ke *port* 4  
 $S_{31}$  = daya yang disalurkan dari *port* 3 ke *port* 1  
 $S_{32}$  = daya yang disalurkan dari *port* 3 ke *port* 2  
 $S_{33}$  = daya yang dipantulkan dari *port* 3  
 $S_{34}$  = daya yang disalurkan dari *port* 3 ke *port* 4  
 $S_{41}$  = daya yang disalurkan dari *port* 4 ke *port* 1  
 $S_{42}$  = daya yang disalurkan dari *port* 4 ke *port* 2  
 $S_{43}$  = daya yang disalurkan dari *port* 4 ke *port* 3  
 $S_{44}$  = daya yang dipantulkan dari *port* 4

Parameter  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$ , dan  $S_{44}$  merupakan parameter *return loss*.  
 Parameter  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{14}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ , dan  $S_{41}$  merupakan parameter *insertion loss*.  
 Dan parameter isolasi antar *port* tercermin pada parameter  $S_{23}$ ,  $S_{32}$ ,  $S_{24}$ ,  $S_{42}$ ,  $S_{34}$ , dan  $S_{43}$ .

### 2.6.2 **Return Loss [8]**

*Return loss* adalah perbandingan antara amplitudo antara gelombang yang dipantulkan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo gelombang yang dipantulkan ( $V^-$ ) dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan ( $V^+$ ). *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*missmatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi [7].

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (1.20)$$

dimana  $Z_L$  adalah impedansi beban (*load*) dan  $Z_0$  adalah impedansi saluran *lossless*.

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) yang memiliki nilai kompleks guna merepresentasikan besarnya magnitudo dan fase dari refleksi. Untuk beberapa kasus nilai  $\Gamma$  adalah :



- ❖  $\Gamma = -1$  , refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat
- ❖  $\Gamma = 0$  , tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna
- ❖  $\Gamma = +1$  , refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka

Persamaan *return loss* dapat ditulis sebagai berikut :

$$RL \text{ (dB)} = -20 \log |S_{11}| \quad (1.21)$$

dimana  $S_{11}$  dapat diganti dengan  $S_{22}, S_{33}$  , dan  $S_{44}$ .

### 2.6.3 *Insertion Loss* [8]

*Insertion loss* merupakan *loss* yang terjadi akibat transmisi atau transfer daya dari *port* 1 ke *port* 2. *Insertion loss* dapat diperoleh dengan persamaan :

$$IL \text{ (dB)} = -20 \log |S_{12}| \quad (1.22)$$

dimana  $S_{12}$  dapat diganti dengan  $S_{21}, S_{13}, S_{31}, S_{14}$  dan  $S_{41}$ .

Untuk *power combiner/divider* 1 to 2 besar *insertion loss* adalah -3 dB dengan toleransi  $\leq 0,5$  dB, sedangkan untuk *power combiner/divider* besar *insertion loss* adalah -4.77 dB dengan toleransi  $\leq 0.5$  dB. Nilai ini digunakan untuk menentukan jumlah daya *output* yang dikeluarkan akan bernilai setengah atau sepertiga dari daya *input*.

### 2.6.4 *Isolation Loss* [8]

Isolasi diantara *outpot port* dari *power combiner/divider* juga sangat krusial pada performansi perangkat. Isolasi adalah karakteristik yang berperan sebagai kemampuan sinyal dalam satu *port* untuk tidak mempengaruhi atau menjadi terisolasi dari sinyal di *port* lain.

$$IL \text{ (dB)} = -20 \log |S_{23}| \quad (1.23)$$

dimana  $S_{23}$  dapat diganti dengan  $S_{32}, S_{24}, S_{42}, S_{34}$  dan  $S_{43}$ .

Isolasi antara *port output* 2 dan 3 pada *power combiner/divider* 1 to 2, dan pada *power combiner/divider* 1 to 3 dimana isolasinya antara *port* output 2 dan 3, 3 dan 4, dan 2 dan 4 adalah penting dalam mengurangi *cross-*

*talk* yang dapat disebabkan oleh *coupling* diantara *port*-nya. Dalam *S-matrix*, elemen  $S_{23}$  dan  $S_{32}$ ,  $S_{34}$  dan  $S_{43}$ ,  $S_{24}$  dan  $S_{42}$  saling berhubungan dengan isolasi diantara *port-port output*. Hal ini sesuai untuk sinyal masuk ke dalam *port* 2 dan keluar ke *port* 3, atau masuk ke dalam *port* 3 dan keluar ke *port* 4, atau masuk ke dalam *port* 2 dan keluar ke *port* 4, juga sebaliknya. Disaat magnitudo dari elemen ini kecil, isolasi yang tinggi akan tercapai diantara *port*.

#### 2.6.5 Voltage Standing Wave Ratio [8]

Bila impedansi saluran transmisi tidak sesuai dengan *transceiver* maka akan timbul daya refleksi (*reflected power*) pada saluran yang berinterferensi dengan daya maju (*forward power*). Interferensi ini menghasilkan gelombang berdiri (*standing wave*) yang besarnya bergantung pada besarnya daya refleksi. VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri maksimum ( $|V|_{max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{min}$ ). Frekuensi level daya yang dikarenakan adanya ketidaksesuaian saluran transmisi dengan beban. Besarnya nilai VSWR bervariasi antara 1 sampai  $\infty$  (tak hingga). Semakin tinggi VSWR, semakin besar pula ketidaksesuaian saluran transmisi. Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah :

$$VSWR = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (1.24)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit diterapkan.

#### 2.6.6 Bandwidth [8]

Disebut juga sebagai lebar pita yang didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi dimana performa *power combiner/divider*. Salah satu cara untuk menentukan *bandwidth* adalah dengan mengukur lebar rentang frekuensi batasan -10 dB pada grafik *return loss*.

Persamaan *bandwidth* dapat ditulis sebagai berikut :

$$BW = f_1 - f_2 \quad (1.25)$$

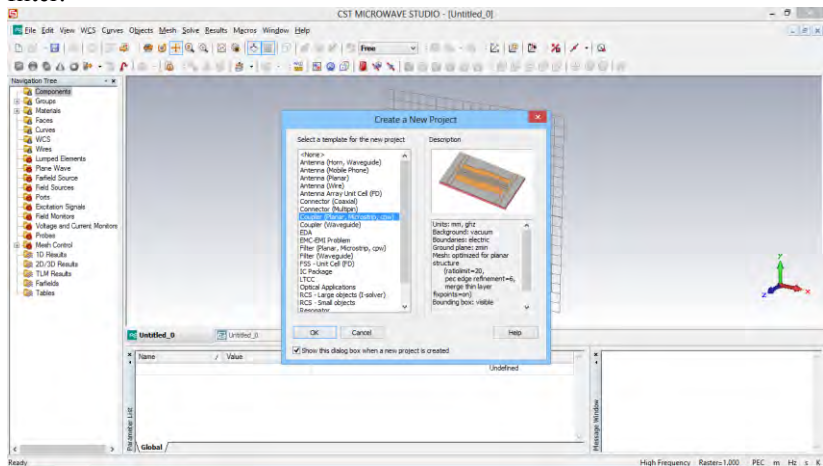
dimana :  $f_1$  = frekuensi atas (Hz)  
 $f_2$  = frekuensi bawah (Hz)  
 $BW$  = *bandwidth* (Hz)

## 2.7 Instrumen Perancangan dan Pengukuran

Dalam perancangan desain *power combiner/divider*, digunakan sebuah *software* yang dapat mensimulasikan rancangan yang telah dibuat secara teoritis hingga siap untuk difabrikasi. Desain *power combiner/divider* yang telah dioptimasi kemudian diuji performansinya dengan beberapa perangkat.

### 2.7.1 Computer Software Technology Microwave Studio [10]

*Computer Simulation Technology Microwave Studio* (CST MWS) adalah sebuah *software* simulasi tiga dimensi gelombang elektromagnetik. CST MWS merupakan salah satu produk dari *CST Company* yang sudah berkembang di berbagai negara termasuk Indonesia. CST MWS dapat digunakan untuk melakukan perancangan dan simulasi di dalam pembuatan perangkat komunikasi RF atau pada frekuensi tinggi. Beberapa perangkat yang sering dirancang dan disimulasikan dengan CST MWS yaitu antenna dan filter.



Gambar 2.15 Logo CST Microwave Studio

Keunggulan menggunakan CST MWS diantaranya adalah tampilan *interface* yang mudah dimengerti dan baik untuk digunakan sebagai media pembelajaran bagi pemula maupun yang sudah berpengalaman. CST MWS dapat pula digunakan untuk mensimulasikan beberapa komponen RF dengan mudah dan juga memiliki hasil perhitungan yang cukup akurat dan cepat.

### 2.7.2 Network Analyzer

Hardware yang digunakan untuk mengukur kinerja *power combiner/divider* disebut *Network Analyzer* (NA). Parameter yang dapat diukur adalah *S-Parameter*, VSWR, dan impedansi pada *smith chart*. NA yang digunakan untuk pengukuran adalah *Advantest R3770 Network Analyzer* yang mampu mengukur dalam rentang 300 kHz – 20 GHz dan *Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer* yang mampu mengukur dalam rentang 2 MHz – 6 GHz [11].



**Gambar 2.16** *Advantest R3770 Network Analyzer*



**Gambar 2.17.** *Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer*

### 2.7.3 Kabel Jumper RG8

Dikarenakan *power combiner/divider* memiliki beberapa *port* maka digunakan kabel RG8 yang digunakan untuk menghubungkan *port* yang hendak diukur ke NA [12].



**Gambar 2.18.** Kabel Jumper RG8

#### 2.7.4 Resistor SMD

Resistor ini digunakan untuk disambungkan ke antar *port output* pada rancangan *power combiner/divider*. Resistor ini digunakan untuk mengatasi isolasi antar *output* sehingga tidak ada daya yang keluar menuju *port* lain [12].



**Gambar 2.19.** Resistor SMD 100 Ohm

#### 2.7.5 SMA Female PCB Connector

Konektor jenis ini adalah konektor yang digunakan sebagai *port* pada *power combiner/divider*. Berperan sebagai saluran transmisi dan dihubungkan pada NA guna melakukan pengukuran [12].



**Gambar 2.20** SMA Female PCB Connector 50 Ohm

#### 2.7.6 *N-Male Connector*

Konektor ini digunakan untuk menyambungkan antara NA dengan konektor SMA *female* yang melekat pada desain *power combiner/divider* [12].



**Gambar 2.21.** *N-Male Connector*

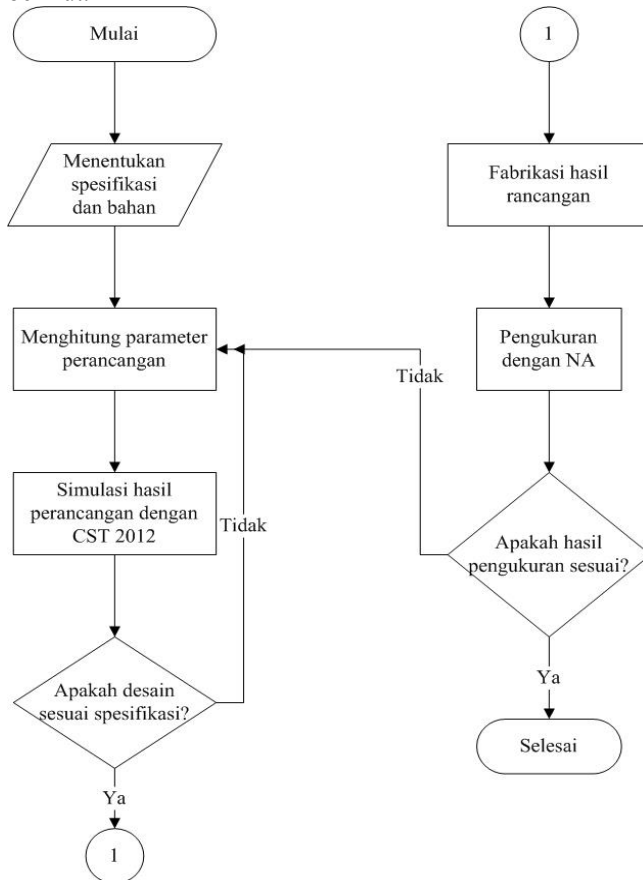
*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## BAB 3

### PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT

#### 3.1 Diagram Alir Perancangan

Skema perancangan dan realisasi alat ini melalui beberapa tahapan proses mulai dari awal sampai dengan selesai, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Perancangan *Power Combiner/Divider*



### 3.2 Spesifikasi Rancangan

*Power combiner/divider* yang akan direalisasikan pada tugas akhir terdapat dua jenis, yaitu *power combiner/divider 1 to 2* dan *power combiner 1 to 3*. Spesifikasi yang diterapkan pada rancangan adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.1.** Spesifikasi Rancangan untuk *Power Combiner/Divider*

Spesifikasi	<i>Power Divider/Combiner 1 to 2</i>	<i>Power Divider/Combiner 1 to 3</i>
Frekuensi kerja	2 – 4 GHz	2 – 4 GHz
Frekuensi tengah	3 GHz	3 GHz
<i>Return loss</i>	$\leq -10$ dB	$\leq -10$ dB
<i>Insertion loss</i>	$\geq -3$ dB (toleransi $\leq 0.5$ dB)	$\geq -4.77$ dB (toleransi $\leq 0.5$ dB)
Isolasi antar <i>port</i>	$\leq -20$ dB	$\leq -20$ dB
VSWR	$\leq 1.5$	$\leq 1.5$

Bahan yang digunakan pada perancangan *power combiner/divider* ini yaitu PCB jenis FR4, dimana memiliki spesifikasi sebagai berikut :

**Tabel 3.2.** Spesifikasi PCB

Spesifikasi	Besaran
Permittivitas bahan ( $\epsilon_r$ )	4,3
Tebal dielektrik (h)	1,6 mm
Tebal konduktor	0,035 mm

Perancangan *power combiner/divider* ini menggunakan mikrostrip.

### 3.3 Perancangan Secara Teoritis

Dalam merancang *power combiner/divider* terdapat beberapa perhitungan secara teoritis guna mendapatkan ukuran *power combiner/divider* yang diinginkan. Langkah-langkah perhitungan tersebut diantaranya :

#### 3.3.1 Menentukan Impedansi Karakteristik Saluran

Pada gambar (2.11) dan (2.12), daya *input* dihubungkan dengan *port input* yang memiliki impedansi karakteristik 50  $\Omega$ . Kemudian daya tersebut dibagi menjadi dua pada *power combiner/divider 1 to 2* dan menjadi tiga pada *power combiner/divider 1 to 3* dengan amplitudo dan fasa tertentu yang sama

besar berjalan ke *port output*. Pada *port output* nantinya juga dihasilkan nilai impedansi sebesar  $50 \Omega$ . Hal ini dikarenakan *port input* dan *port output* pada masing-masing *power combiner/divider* akan dipasangkan dengan saluran transmisi yang memiliki impedansi sebesar  $50 \Omega$  untuk membuat keduanya saling *matched*. Oleh karena itu, nilai impedansi karakteristik sebesar  $50 \Omega$  inilah yang akan menentukan panjang dan lebar saluran *power combiner/divider*.

### 3.3.2 Lebar dan Panjang Saluran untuk Masing-Masing $Z_0$

Dalam menentukan lebar saluran dengan impedansi  $50 \Omega$  untuk *port input* dan *port output* terdapat persamaan sebagai berikut [7] :

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left| \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right| \right\} \quad (1.26)$$

dimana :  $W$  = lebar saluran (mm)

$B$  = konstanta dengan persamaan  $\frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$  (1.27)

$h$  = tebal dielektrik (mm)

$\epsilon_r$  = permitivitas bahan (F/m)

$$\text{dengan : } B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{60\pi^2}{50\sqrt{4.3}} = 5.7$$

didapatkan  $W_{50}$  sebesar :

$$W_{50} = \frac{2(1.6)}{\pi} \left\{ 5.7 - 1 - \ln(2(5.7) - 1) + \frac{4.3-1}{2(4.3)} \left| \ln(5.7 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.3} \right| \right\} = 2.9 \text{ mm}$$

Setelah mendapatkan lebar saluran dengan impedansi  $50 \Omega$  senilai 2.9 mm, langkah selanjutnya adalah memeriksa perbandingan lebar saluran  $50 \Omega$  terhadap tebal susbtrat ( $W_{50}/h$ ), yang akan menghasilkan [11] :

$$\frac{W_{50}}{h} = \frac{2.9}{1.6} = 1.8$$

Dari hasil  $W/h$  akan dianalisa untuk mendapatkan persamaan permitivitas bahan efektif ( $\epsilon_{r_{eff}}$ ) dengan syarat sebagai berikut [11] :

$$\frac{W}{h} > 1, \text{ maka } \varepsilon_{r_{eff}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right] \quad (1.28)$$

$$\frac{W}{h} < 1, \text{ maka } \varepsilon_{r_{eff}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h}\right)^2 \right] \quad (1.29)$$

Karena nilai  $\frac{W_{50}}{h} > 1$ , maka berlaku persamaan (1.28), yang akan mendapatkan hasil :

$$\varepsilon_{r_{eff}} = \frac{4.3 + 1}{2} + \frac{4.3 - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12(1.6)}{2.9}}} \right] = 3.1$$

Setelah didapat nilai  $\varepsilon_{r_{eff}}$ , maka panjang gelombang dielektrik ( $\lambda_d$ ) didapat dengan persamaan berikut [7] :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{r_{eff}}}} = \frac{c}{f_0 \sqrt{\varepsilon_{r_{eff}}}} \quad (1.30)$$

dimana :  $\lambda_d$  = panjang gelombang dielektrik (m)  
 $\lambda_0$  = panjang gelombang di ruang bebas (m)  
 $c$  = kecepatan cahaya di ruang bebas (m/s)  
 $f_0$  = frekuensi kerja (Hz)

sehingga :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{r_{eff}}}} = \frac{c}{f_0 \sqrt{\varepsilon_{r_{eff}}}} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^9 \sqrt{3.1}} = 0.057 \text{ m} = 57 \text{ mm}$$

lalu panjang saluran ( $l$ ) didapat dengan persamaan berikut [7] :

$$l = \frac{\lambda_d}{4} \quad (1.31)$$

dimana :  $l$  = panjang saluran (m)

sehingga nilai  $l_{50}$  yaitu :

$$l_{50} = \frac{\lambda_d}{4} = \frac{57}{4} = 14.3 \text{ mm}$$

Dari perhitungan secara teoritis diatas, maka didapat lebar saluran 50  $\Omega$  sebesar 2.9 mm dan panjang saluran 50  $\Omega$  sebesar 14.3 mm. Dikarenakan *port input* dan *port output* pada *power combiner/divider 1 to 2* adalah sama dengan *power combiner/divider 1 to 3*, maka kedua rancangan memiliki ukuran yang sama untuk saluran dengan impedansi 50  $\Omega$ .

### 3.3.3 Penambahan Transformator Saluran $\lambda/4$

Transformer  $\lambda/4$  adalah suatu teknik *impedance matching* yang memberikan saluran transmisi dengan  $Z_T$  diantara saluran *input* dengan saluran *output* dikarenakan kedua impedansinya tidak *match* yaitu impedansi karakteristik  $Z_0$  dan impedansi beban  $Z_L$  [5].

Nilai  $Z_T$  pada *power combiner/divider* berbeda-beda tergantung dari jumlah  $N$  *output*. Dengan menggunakan persamaan (1.5) maka didapat nilai  $Z_T$  pada *power combiner/divider 1 to 2* adalah 70.71  $\Omega$  dan untuk *power combiner/divider 1 to 3* adalah 86.6  $\Omega$ .

### 3.3.4 Lebar dan Panjang Saluran Transmisi $\lambda/4$

Setelah mendapat nilai  $Z_T$ , maka langkah selanjutnya adalah mencari panjang dan lebar saluran transformator  $\lambda/4$ . Dengan menggunakan persamaan (1.26)-(1.31), maka akan didapat:

#### ❖ Power Combiner/Divider 1 to 2

a. Menentukan lebar saluran 70.71  $\Omega$  :

$$W_{70} = \frac{2(1.6)}{\pi} \left\{ 4.1 - 1 - \ln(2(4.1) - 1) + \frac{4.3-1}{2(4.3)} \left| \ln \left( (4.1) - 1 \right) + 0.39 - \frac{0.61}{4.3} \right| \right\} = 1.5 \text{ mm}$$

$$\text{dengan : } B = \frac{60\pi^2}{70.71\sqrt{4.3}} = 4.1$$

b. Memeriksa perbandingan lebar saluran  $70.71 \Omega$  dengan tebal substrat :

$$\frac{W_{70}}{h} = \frac{1.5}{1.6} = 0.94$$

c. Menentukan nilai permitivitas bahan relatif :

$$\frac{W}{h} < 1, \text{ maka } \epsilon_{r_{eff}} = \frac{4.3+1}{2} + \frac{4.3-1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12(1.6)}{1.5}}} + 0.04 \left(1 - \frac{1.5}{1.6}\right)^2 \right] = 3.1$$

d. Menentukan panjang gelombang dielektrik :

$$\lambda_d = \frac{c}{f_0 \sqrt{\epsilon_{r_{eff}}}} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^9 \sqrt{3.1}} = 0.057 \text{ m} = 57 \text{ mm}$$

e. Menentukan panjang saluran  $70.71 \Omega$  :

$$l_{70} = \frac{\lambda_d}{4} = \frac{57}{4} = 14.3 \text{ mm}$$

Sehingga, untuk *power combiner/divider 1 to 2* secara teoritis didapat lebar saluran  $70.71 \Omega$  sebesar 1.5 mm dan panjangnya yaitu 14.3 mm.

#### ❖ Power Combiner/Divider 1 to 3

a. Menentukan lebar saluran  $86.60 \Omega$  :

$$W_{86} = \frac{2(1.6)}{\pi} \left\{ 3.3 - 1 - \ln(2(3.3) - 1) + \frac{4.3-1}{2(4.3)} \left| \ln(3.3 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.3} \right| \right\} = 0.88 \text{ mm}$$

$$\text{dengan : } B = \frac{60\pi^2}{86.6\sqrt{4.3}} = 3.3$$

b. Memeriksa perbandingan lebar saluran  $86.60 \Omega$  dengan tebal substrat :

$$\frac{W_{86}}{h} = \frac{0.88}{1.6} = 0.55$$

c. Menentukan nilai permitivitas bahan relatif :

$$\frac{W}{h} < 1, \text{ maka } \varepsilon_{r_{eff}} = \frac{4.3+1}{2} + \frac{4.3-1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12(1.6)}{0.88}}} + 0.04 \left(1 - \frac{0.88}{1.6}\right)^2 \right] = 3$$

d. Menentukan panjang gelombang dielektrik :

$$\lambda_d = \frac{c}{f_0 \sqrt{\varepsilon_{r_{eff}}}} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^9 \sqrt{3}} = 0.057 \text{ m} = 57 \text{ mm}$$

e. Menentukan panjang saluran 86.60  $\Omega$  :

$$l_{86} = \frac{\lambda_d}{4} = \frac{57}{4} = 14.3 \text{ mm}$$

Sehingga, untuk *power combiner/divider 1 to 3* secara teoritis didapat lebar saluran 86.60  $\Omega$  sebesar 0.88 mm dan panjangnya yaitu 14.3 mm.

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa besar impedansi berpengaruh pada lebar saluran transmisi, sedangkan untuk panjang tidak terlalu berpengaruh.

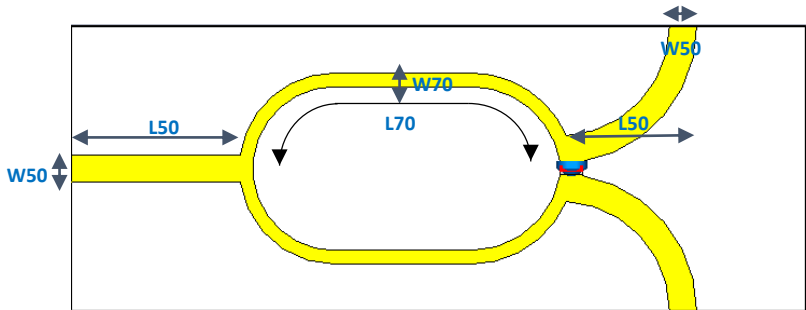
### 3.4 Perancangan Secara Simulasi

Setelah menentukan kriteria desain *power combiner/divider*, parameter yang diinginkan, dan bahan dasar (substrat), maka nilai-nilai tersebut digunakan dalam simulasi dengan *software*.

Pada perancangan *power combiner/divier* dengan menggunakan *software*, dilakukan perancangan dari *paper* yang dijadikan acuan [2] [15]. Namun, dikarenakan terdapat beberapa parameter yang tidak tercantum pada *paper* acuan, maka dilakukan perhitungan secara teoritis melalui beberapa sumber buku. Hasil perhitungan teoritis pun masih belum sepenuhnya mencapai spesifikasi yang diinginkan, oleh sebab itu dilakukanlah modifikasi untuk mendapatkan hasil yang diinginkan serta memungkinkan untuk direalisasikan pada frekuensi *S Band*. Modifikasi desain yang dilakukan meliputi mengganti penggunaan bahan substrat menjadi FR4, melakukan uji coba dalam menambahkan nilai pada panjang ataupun lebar saluran

transmisi. Hal ini tak lepas dari analisis perbandingan hasil simulasi hingga menemukan ukuran yang sesuai.

Desain yang didapat untuk *power combiner/divider 1 to 2* adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.2** Desain *Power Combiner/Divider 1 to 2*

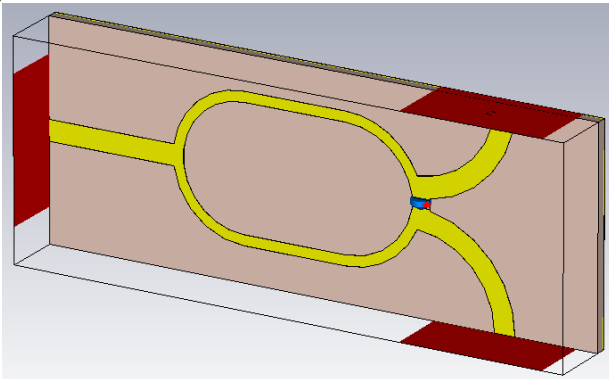
Hasil desain pada gambar (3.2) adalah hasil modifikasi dari *paper* acuan yang digunakan [2]. Modifikasi yang dilakukan hingga mendapatkan desain tersebut adalah dengan menambahkan *full ground plane* pada bagian belakang FR4 yang bertujuan untuk diterapkan sama dengan hasil desain fabrikasinya. Menambahkan nilai pada panjang saluran  $50\ \Omega$  dan  $70.71\ \Omega$  juga dilakukan guna mendapatkan *S-Parameter* yang diinginkan. Besaran nilai yang dimasukkan adalah asumsi dengan berdasarkan pada perhitungan teoritis.

Bentuk saluran transmisi  $70.71\ \Omega$  yang berupa lengkungan adalah desain dari *paper* acuan. Lekukan tersebut berupa *mitered bend* yang berfungsi untuk memandu sinyal ke/dari saluran transmisi. Lekukan sebesar  $90^\circ$  pada saluran mikrostrip menghasilkan refleksi yang besar dari ujung saluran. Beberapa sinyal akan memantul sepanjang sudut, namun sebagian besar memantul kembali ke arah sinyal datang. Jika lekukan membentuk lengkungan berjari-jari minimal tiga kali lebar *strip*, maka besar refleksi sinyal akan semakin kecil [1]. Nilai lengkungan ini membuat banyak peningkatan dibanding dengan lekukan  $90^\circ$ . Lekukan  $90^\circ$  yang bersudut tajam dapat menjadi *shunt capacitance* diantara *ground plane* dengan lekukan. Di samping untuk membuat *match* yang lebih baik, *mitered bend* berfungsi untuk mereduksi *metallization area* dan menghilangkan *excess capacitance*. Sinyal tidak akan lagi datang secara normal pada sisi mikrostrip, sehingga akan terpantul dari akhir bawah saluran.

Name /	Value	Description
L70	43	panjang saluran 70.71 ohm (mm)
W70	1.5	lebar saluran 70.71 ohm (mm)
L50	20	panjang saluran 50 ohm (mm)
W50	3	lebar saluran 50 ohm (mm)
h	1.6	tebal substrat (mm)
t	0.035	tebal copper (mm)

**Gambar 3.3** Parameter *Power Combiner/Divider 1 to 2*

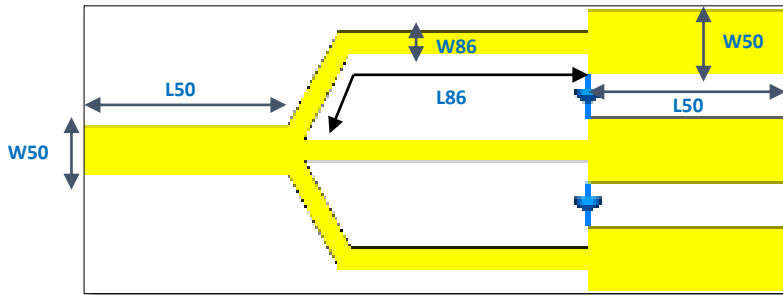
Pada gambar (3.3) dijelaskan mengenai parameter yang dimasukkan ke dalam *software* agar dapat disimulasikan sesuai bentuk yang diinginkan. Parameter tersebut didapat dari *paper* acuan dan modifikasi dari hasil perhitungan teoritis.



**Gambar 3.4.** Hasil Desain *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS

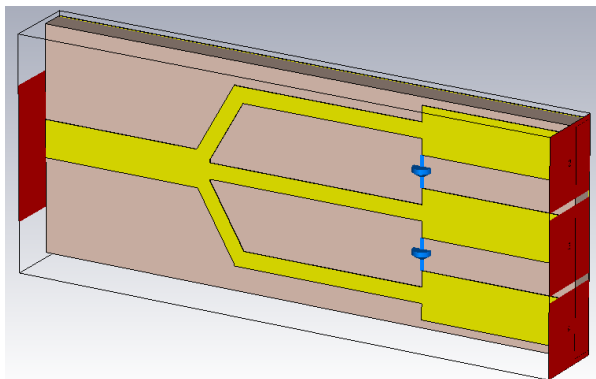
Sedangkan untuk desain *power combiner/divider 1 to 3* yang didapat adalah sebagai berikut :





**Gambar 3.5** Desain *Power Combiner/Divider 1 to 3*

Hasil desain pada gambar (3.5) adalah hasil modifikasi dari *paper* acuan yang digunakan [15]. Modifikasi yang dilakukan hingga mendapatkan desain tersebut adalah dengan menambahkan *full ground plane* pada bagian belakang FR4 yang bertujuan untuk diterapkan sama dengan hasil desain fabrikasinya. Menambahkan nilai pada panjang saluran  $50\ \Omega$  dan  $86.60\ \Omega$  juga dilakukan guna mendapatkan *S-Parameter* yang diinginkan. Besaran nilai yang dimasukkan adalah asumsi dengan berdasarkan pada perhitungan teoritis. Penggunaan resistor sebesar  $100\ \Omega$  yang saling terhubung antar *port output* juga diterapkan untuk mendapatkan isolasi antar *port* yang sesuai. Bentuk saluran transmisi  $86.60\ \Omega$  yang berupa sisi miring juga diterapkan sebagai model lain dari *power combiner/divider* selain berupa lengkungan. Besaran sisi miring tersebut juga merupakan asumsi dari hasil perhitungan teoritis.



**Gambar 3.6.** Hasil Desain *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS

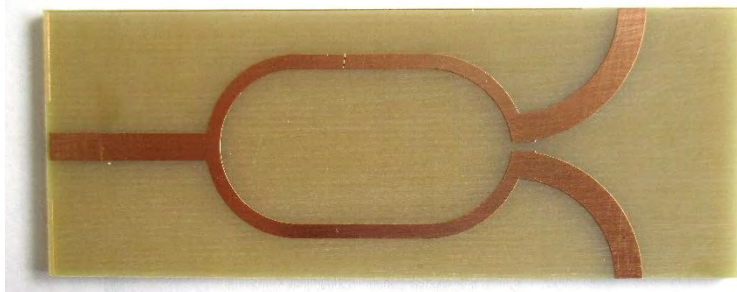
Pada gambar (3.7) dijelaskan mengenai parameter yang dimasukkan ke dalam *software* agar dapat disimulasikan sesuai bentuk yang diinginkan. Parameter tersebut didapat dari *paper* acuan dan modifikasi dari hasil perhitungan teoritis.

Name /	Value	Description
L50	10	panjang saluran 50 ohm (mm)
L86	15	panjang saluran 86.60 ohm (mm)
W50	3	lebar saluran 50 ohm (mm)
W86	1	lebar saluran 86.60 ohm (mm)
h	1.6	tebal substrat (mm)
t	0.035	tebal copper (mm)

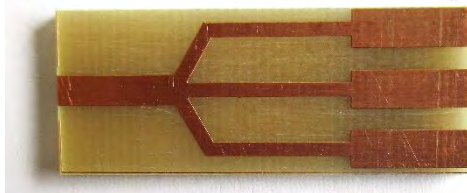
**Gambar 3.7** Parameter *Power Combiner/Divider 1 to 3*

### 3.5 Fabrikasi Rancangan

Setelah proses perancangan melalui simulasi menghasilkan spesifikasi yang diinginkan, maka desain dicetak pada PCB untuk dilakukan pengukuran. Hasil dari pengukuran fabrikasi nantinya akan dianalisa untuk dibandingkan dengan hasil simulasi pada *software*.



**Gambar 3.8** PCB *Power Combiner/Divider 1 to 2*



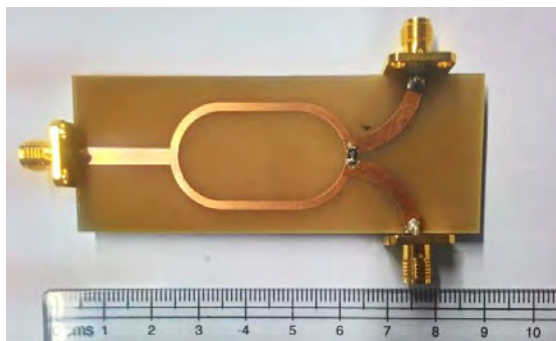
**Gambar 3.9** PCB *Power Combiner/Divider 1 to 3*

Berdasarkan hasil simulasi pada *software*, ukuran *power combiner/divider 1 to 2* memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan *power combiner/divider 1 to 3*. Hasil fabrikasi *power combiner/divider 1 to 2* memiliki dimensi panjang 8 cm dan lebar 3 cm. Sedangkan hasil fabrikasi *power combiner/divider 1 to 3* memiliki dimensi panjang 3.5 cm dan lebar 1.5 cm.

### 3.6 Pemasangan Konektor dan Resistor

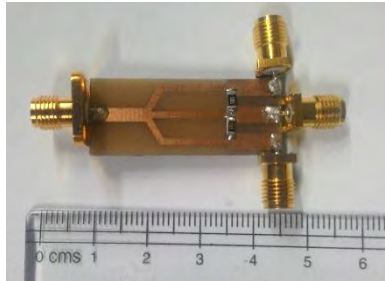
Pada Wilkinson *power combiner/divider*, penggunaan resistor isolasi antar *port output* digunakan untuk mengisolasi *port-port output* pada saat *power divider* digunakan sebagai *power combiner*. Pada saat pemasangan resistor isolasi ini harus hati-hati dikarenakan resistor yang digunakan adalah jenis SMD yang memiliki ukuran sangat kecil dan tidak dapat disolder terlalu panas karena akan menyebabkan kerusakan.

Penggunaan SMA *female PCB connector* digunakan untuk menghubungkan *power combiner/divider* ke NA atau ke antena yang hendak dipasang *array*. Pemasangan konektor ini berada di masing-masing *port input* dan *ouput*.



**Gambar 3.10** *Power Combiner/Divider 1 to 2*

Pada *power combiner/divider 1 to 2* digunakan tiga konektor SMA 50 yang diletakkan pada *port input* dan dua *port ouput*. Sedangkan untuk resistor SMD diletakkan diantara dua *port output*, persisnya berada di perbatasan antara saluran transmisi  $70.71 \Omega$  dengan saluran transmisi  $50 \Omega$  yang dekat dengan *port output*. Hasil fabrikasi *power combiner/divider 1 to 2* memiliki dimensi panjang 9 cm dan lebar 5 cm setelah dipasangkan dengan konektor SMA 50 seperti yang ditunjukkan.



**Gambar 3.11** *Power Combiner/Divider 1 to 3*

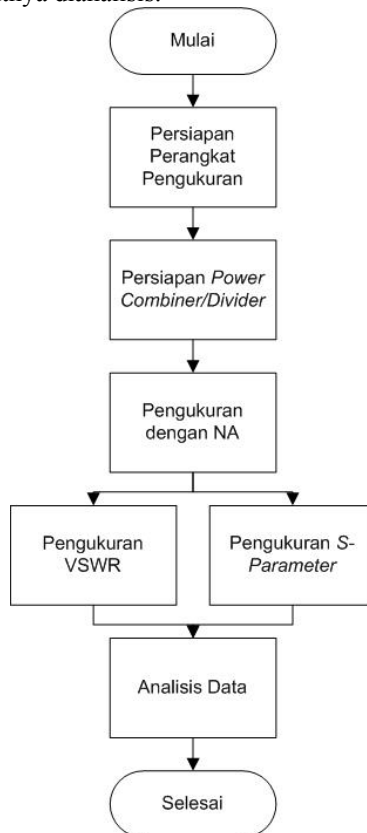
Pada *power combiner/divider 1 to 3* digunakan empat konektor SMA 50 yang diletakkan pada *port input* dan tiga *port output*. Konektor SMA 50 yang digunakan untuk *port input* memiliki dimensi lebih besar dan berupa kotak daripada yang digunakan untuk *port output* yang memiliki dimensi bulat seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.20). Hal ini dikarenakan jarak yang terlalu dekat antar *port output* sehingga disusun seperti pada gambar (3.9). Sedangkan untuk resistor SMD dibutuhkan dua komponen yang diletakkan diantara dua *port output*, persisnya berada di perbatasan antara saluran transmisi  $86.60\ \Omega$  dengan saluran transmisi  $50\ \Omega$  yang dekat dengan *port output*. Hasil fabrikasi *power combiner/divider 1 to 3* memiliki dimensi panjang 5.5 cm dan lebar 3.5 cm setelah dipasangkan dengan konektor SMA 50 seperti yang ditunjukkan.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## BAB 4

### PENGUKURAN KINERJA DAN ANALISIS DATA

Parameter unjuk kerja *power combiner/divider* dapat diukur dengan melakukan simulasi pada *software* dan pengukuran langsung dengan menggunakan alat ukur *hardware network analyzer*. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan data-data pengukuran sehingga dapat diketahui sejauh mana hasil pengukuran mendekati spesifikasi yang diinginkan. Dari perbandingan tersebut nantinya akan diketahui karakteristik alat yang telah dibuat untuk selanjutnya dianalisis.



**Gambar 4.1.** Diagram Alir Proses Pengukuran Unjuk Kerja *Power Combiner/Divider*

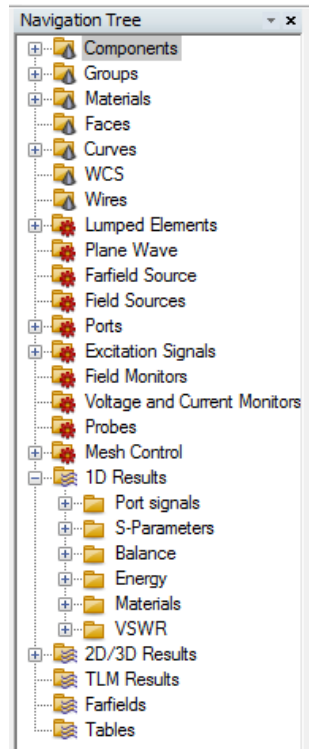
Proses pengukuran kinerja *power combiner/divider* yang akan dilakukan meliputi :

- a. Sebelum melakukan pengukuran, terlebih dahulu dipersiapkan perangkat pengukuran seperti NA, kabel koaksial, konektor *n-male*, dan *dummy load* 50  $\Omega$ . Lalu menyiapkan *power combiner/divider* yang akan diukur dimana alat ini telah disambungkan dengan konektor SMA *female* sehingga dapat disambungkan ke NA.
- b. Pengukuran ditujukan untuk mengukur *S-Parameter* yang akan menghasilkan nilai
  - ❖ *Return loss* : daya yang dipantulkan kembali ke sumber pancaran.
  - ❖ *Insertion loss* : daya yang hilang pada *port output* dari daya *input* yang diberikan dalam pentransmisian.
  - ❖ *Isolation loss* : daya keluaran pada masing-masing *port output* saling berinterferensi sehingga menimbulkan kesalahan.
  - ❖ *VSWR* : untuk mengetahui seberapa *matched* antara *port input* dan *port output*
  - ❖ *Bandwidth* : rentang frekuensi kinerja *power combiner/divider*

#### 4.1 Metode Pengukuran

Dalam pengukurannya, terdapat hasil simulasi pada *software* dan *hardware* yang akan dibandingkan. Hal ini dikarenakan desain yang akan difabrikasi pada mulanya akan disimulasikan dengan menggunakan *software*. setelah hasil desain pada *software* sesuai kemudian di fabrikasi, perangkat tersebut dilakukan uji coba menggunakan *hardware* yang ada di Laboratorium Antena dan Propagasi juga di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Hasil analisis setelah dibandingkan inilah yang akan menjadi dasar apakah *power combiner/divider* yang telah difabrikasi sesuai dengan desain dan teori yang ingin dicapai.

Pengukuran pada CST MWS cukup dilakukan dengan menyiapkan komputer dengan *software* yang telah ter-*install* CST MWS dan hasil rancangan berupa data (.cst) yang siap untuk di-*running*. Hasil pengukuran melalui *software* dapat dilihat dalam *navigation tree* pada file *1-D results*. Di dalam folder tersebut akan ditampilkan *S-Parameter* yang dapat menunjukkan besarnya *return loss*, *insertion loss*, *isolation loss*, *VSWR*, dan *bandwidth* yang ingin diamati. Hasil pengukuran dengan *software* inilah yang dijadikan acuan dalam memutuskan apakah desain siap untuk difabrikasi atau perlu dimodifikasi lebih lanjut.



**Gambar 4.2** *Navigation Tree untuk Melihat Hasil Simulasi pada CST MWS*

Pada pengukuran dengan menggunakan *hardware*, terdapat beberapa langkah yang harus diperhatikan, terutama dalam mengatur alat ukur NA yang akan digunakan. Persiapan ini perlu dilakukan terkait pengaturan kalibrasi alat ukur. Pengaturan kalibrasi alat ukur NA untuk *Advantest R3770 Network Analyzer* meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

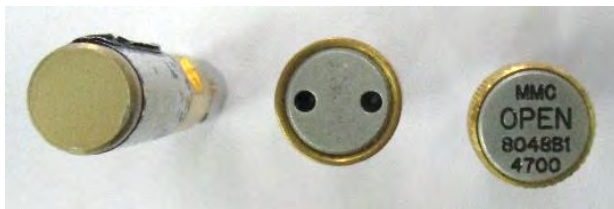
- Menyiapkan *Advantest R3770 Network Analyzer* dan komponen kalibrator yang terdiri dari *open port*, *load port*, dan *short port*.
- Proses *booting* NA dilakukan dengan kedua *port* terbuka sampai dengan proses tersebut selesai.
- Lalu masuk ke *window* kalibrasi pada NA dengan menekan tombol *Cal* lalu pilih 2 *port* yang berarti terdapat dua *port* yang akan dikalibrasi.



- d. Pada masing-masing *port*, kalibrasi dilakukan dengan memasang kalibrator *open port*, *load port*, dan *short port* secara satu per satu.
- e. Proses *throughout* adalah dengan menyambungkan kabel *port 1* dengan *port 2*.



**Gambar 4.3** Proses Kalibrasi pada *Network Analyzer*



**Gambar 4.4** Kalibrator : *Short Port*, *Load Port*, dan *Open Port*

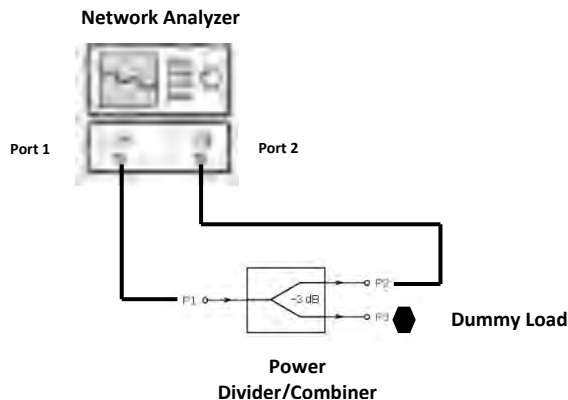


**Gambar 4.5.** Dummy Load 50  $\Omega$

Pengaturan kalibrasi alat ukur NA untuk *Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer* meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan *Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer* dan komponen kalibrator. Yang perlu dipersiapkan adalah *load port* dan *open port*, namun proses kalibrasi dengan menggunakan *load port* akan dilewati dikarenakan komponen tersebut tidak tersedia.
- b. Proses *booting* NA *portable* dilakukan dengan kedua *port* terbuka sampai dengan proses tersebut selesai.
- c. Kemudian masuk ke *window* kalibrasi pada NA *portable* dengan menekan tombol *Cal* dan pilih menu *Response Cal*.
- d. Melakukan pengukuran menggunakan kabel perpanjangan dari *port* NA *portable* dengan menghubungkan kabel tersebut dengan *port* NA *portable* kemudian tekan tombol *Start* untuk memulai kalibrasi
- e. Ketika proses kalibrasi diatas selesai kemudian tekan tombol *Skip* yang digunakan untuk melewati proses kalibrasi tahap selanjutnya dimana membutuhkan *load port*.

Langkah selanjutnya adalah pemasangan *power combiner/divider* pada ujung kabel SMA yang digunakan. Penggunaan kabel SMA ini bertujuan untuk mencegah adanya efek gelombang pantul yang disebabkan oleh alat ukur jika langsung terhubung dengan *port* NA.



**Gambar 4.6.** Blok Diagram Pengukuran *Power Combiner/Divider* dengan NA



**Gambar 4.7.** Susunan Alat dengan *Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer*



**Gambar 4.8.** Susunan Alat dengan *Advantest R3770 Network Analyzer*

#### **4.1.1 Return Loss**

Langkah yang dilakukan untuk mengukur *return loss* adalah sebagai berikut :

- Atur skala NA pada frekuensi tengah 3 GHz dan *range* frekuensi dari 2.5 GHz sampai dengan 3.5 GHz.
- Hubungkan *port 1* pada NA dengan *port input power combiner/divider*
- Terminasi *port* yang tidak digunakan (*port 2*, *port 3*, dan *port 4*) dengan *dummy load* 50  $\Omega$ .
- Catat nilai *return loss* pada frekuensi tengah, dan *marker bandwidth* yang sesuai dengan batas *return loss* yang diinginkan di sekitar frekuensi tengah. Kemudian simpan file.
- Ulangi langkah (b) – (d) untuk mengukur hasil *return loss* pada *port 2*, *port 3*, dan *port 4*.

#### **4.1.2 Insertion Loss**

Langkah yang dilakukan untuk mengukur *insertion loss* adalah sebagai berikut :

- Atur skala NA pada frekuensi tengah 3 GHz dan *range* frekuensi dari 2.5 GHz sampai dengan 3.5 GHz.
- Hubungkan *port 1* pada NA dengan *port input power combiner/divider*.
- Hubungkan *port 2* pada NA dengan *port output 2* yang ada pada *power combiner/divider*.
- Terminasi *port* yang tidak digunakan (*port 3* dan *port 4*) dengan *dummy load* 50  $\Omega$ .
- Catat nilai *insertion loss* pada frekuensi tengah, kemudian simpan file.
- Ulangi langkah (b) – (d) untuk mengukur hasil *insertion loss* pada *port 2* dan 1, *port 1* dan 3, *port 3* dan 1, *port 1* dan 4, dan *port 4* dan 1.

#### **4.1.3 Isolation Loss**

Langkah yang dilakukan untuk mengukur *isolation loss* adalah sebagai berikut :

- Atur skala NA pada frekuensi tengah 3 GHz dan *range* frekuensi dari 2.5 GHz sampai dengan 3.5 GHz.
- Hubungkan *port 1* pada NA dengan *port output 2* yang ada pada *power combiner/divider*.
- Hubungkan *port 2* pada NA dengan *port output 3* yang ada pada *power combiner/divider*.
- Terminasi *port* yang tidak digunakan (*port 1* dan *port 4*) dengan *dummy load* 50  $\Omega$ .

- e. Catat nilai *isolation loss* pada frekuensi tengah, dan *marker bandwidth* yang sesuai dengan batas *return loss* yang diinginkan di sekitar frekuensi tengah. Kemudian simpan file.
- f. Ulangi langkah (b) – (d) untuk mengukur hasil *isolation loss* pada port 3 dan 2, port 2 dan 4, port 4 dan 2, port 3 dan 4, dan port 4 dan 3.

#### 4.1.4 Voltage Standing Wave Ratio

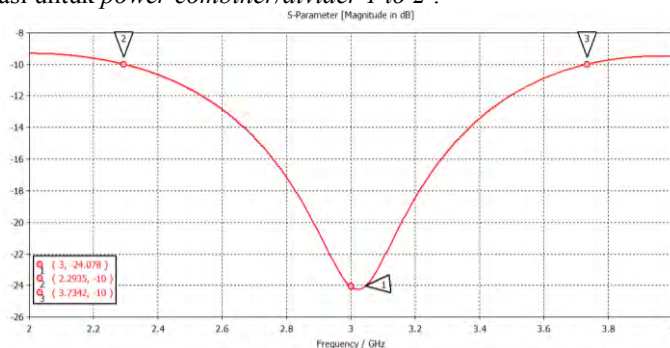
Mengukur *VSWR hardware* adalah dengan mengganti *mode* hasil menjadi *VSWR*. Nilai *VSWR* pada port 1, 2, 3, dan 4 didapat saat mengukur *return loss*.

## 4.2 Data dan Analisis Hasil Pengukuran

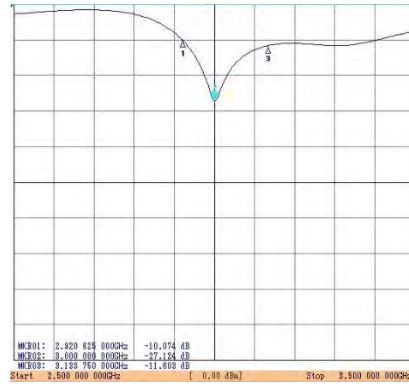
Hasil simulasi pada *software* dan *hardware* akan ditampilkan dan dianalisa sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Hasil simulasi pada *software* akan berupa *S-Parameter* yang ditampilkan sebagai berikut :

### 4.2.1 Return Loss

Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada simulasi dan fabrikasi untuk *power combiner/divider 1 to 2* :

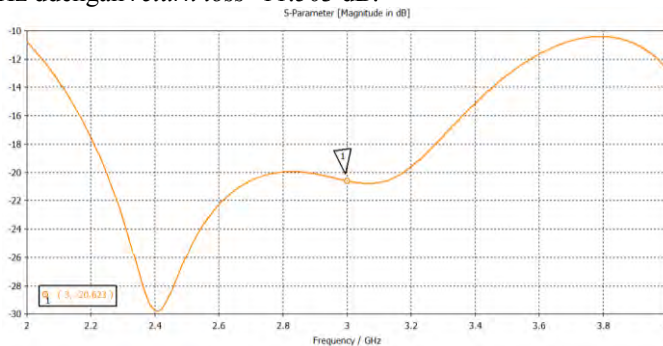


**Gambar 4.9.** S11 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS

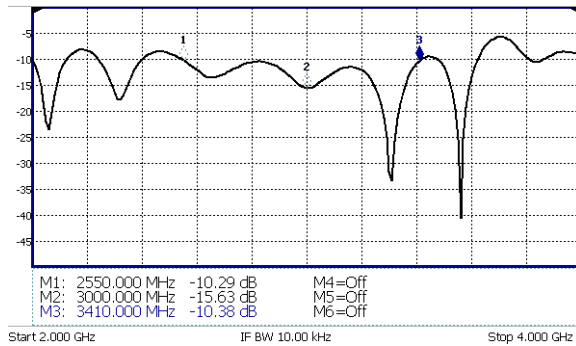


**Gambar 4.10.** S11 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA di LIPI Bandung

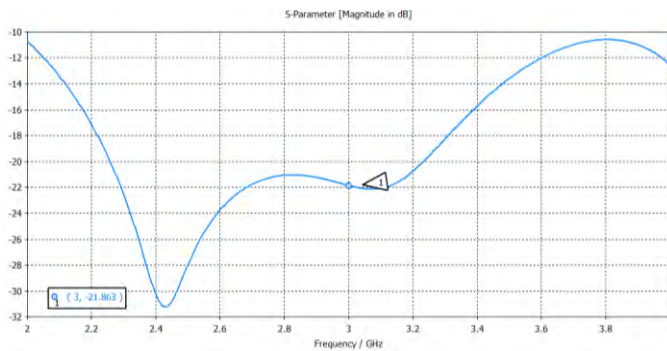
Pada gambar (4.10), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.920 625 000 GHz dengan *return loss* - 10.074 dB, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan *return loss* -27.124 dB, dan MKR03 berada di frekuensi 3.133 750 000 GHz dengan *return loss* -11.503 dB.



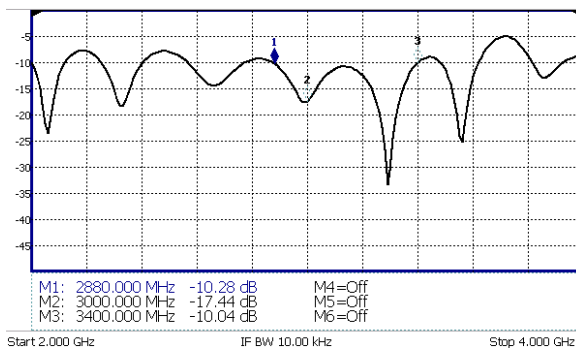
**Gambar 4.11.** S22 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS



**Gambar 4.12.** S22 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA di B.306 ITS



**Gambar 4.13.** S33 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS



**Gambar 4.14.** S33 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA di B.306 ITS

Dari gambar (4.9)– (4.14), nilai  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ , dan  $S_{33}$  yang menunjukkan besarnya *return loss* untuk *power combiner/divider 1 to 2* pada hasil simulasi dengan hasil fabrikasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.1.** Data *Return Loss* pada *Power Combiner/Divider 1 to 2*

<i>S-Parameter</i>	Hasil CST		Hasil NA	
	Di 3 GHz (dB)	BW (MHz)	Di 3 GHz (dB)	BW (MHz)
S11	-24.078	1441	-27.124	193
S22	-20.623	2000	-15.63	860
S33	-21.863	2000	-17.44	520

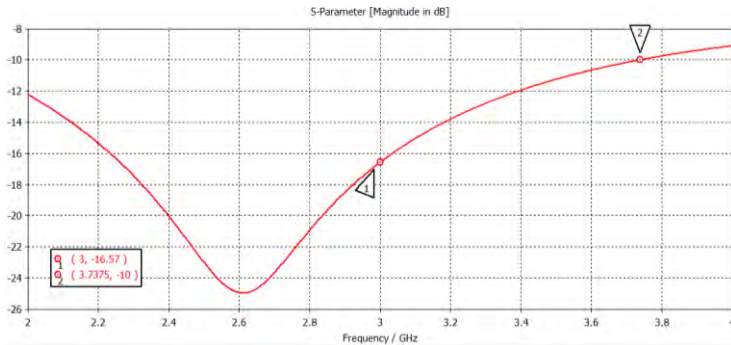
Berdasarkan tabel (4.1), maka dapat diketahui bahwa hasil simulasi dan pengukuran di NA terdapat selisih nilai. Pada  $S_{11}$  terdapat perbedaan sebesar 3.046 dB di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi. Pada  $S_{22}$  terdapat perbedaan sebesar 4.993 dB di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi. Pada  $S_{33}$  terdapat perbedaan sebesar 4.423 dB di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi.

Di samping itu, pada hasil simulasi maupun pengukuran di NA, nilai  $S_{22}$  dan  $S_{33}$  tidak mengalami perubahan nilai yang signifikan. Pada hasil simulasi selisih keduanya hanya sebesar 1.24 dB sedangkan pada pengukuran di NA selisih keduanya hanya sebesar 1.81 dB.

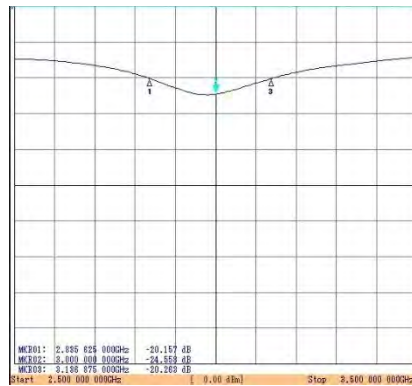
Dari hasil data pengukuran menggunakan NA diatas maka dapat dilihat bahwa nilai *return loss* terburuk terjadi pada *port 2* sebesar -15.63 dB. Namun, nilai tersebut sudah memenuhi spesifikasi (*return loss*  $\leq$  -10 dB). Hal ini berdasarkan pada semakin kecilnya nilai *return loss* dari suatu *power combiner/divider* maka alat tersebut akan semakin baik, karena semakin kecil daya yang dipantulkan pada masing-masing *port*. *Return loss* yang ideal bernilai minus tak berhingga, yang artinya tidak ada daya yang dipantulkan karena beban dan saluran transmisinya *match*.

Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada simulasi dan fabrikasi untuk *power combiner/divider 1 to 3* :



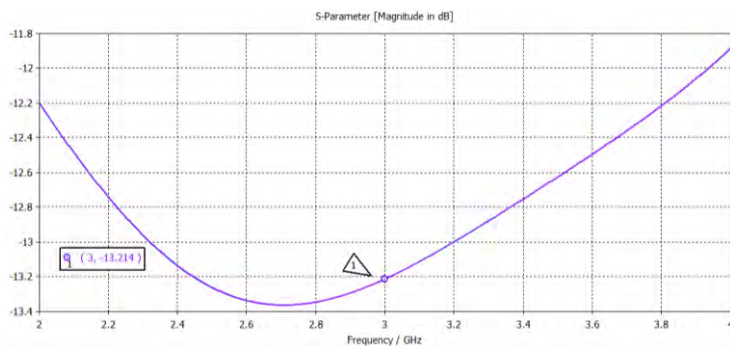


**Gambar 4.15.** S11 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS

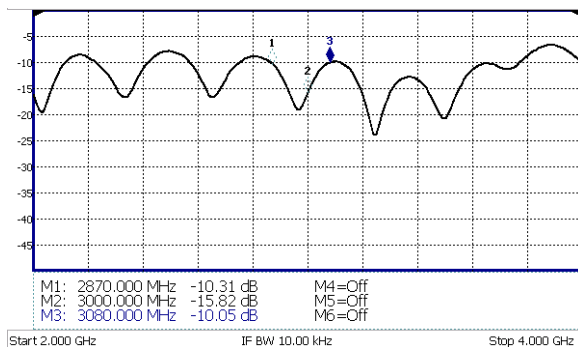


**Gambar 4.16.** S11 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di LIPI Bandung

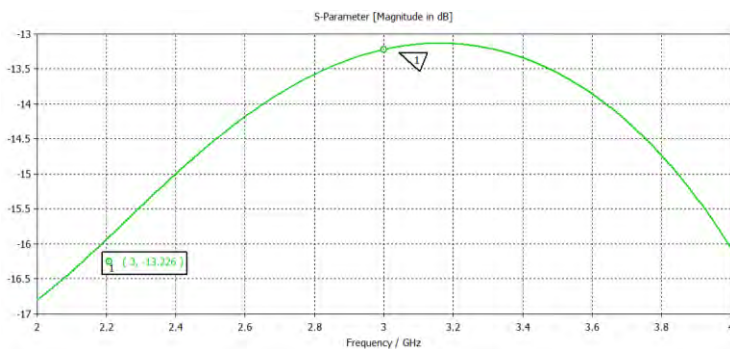
Pada gambar (4.16), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.835 625 000 GHz dengan *return loss* - 20.147 dB, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan *return loss* -24.558 dB, dan MKR03 berada di frekuensi 3.136 875 000 GHz dengan *return loss* -20.263 dB.



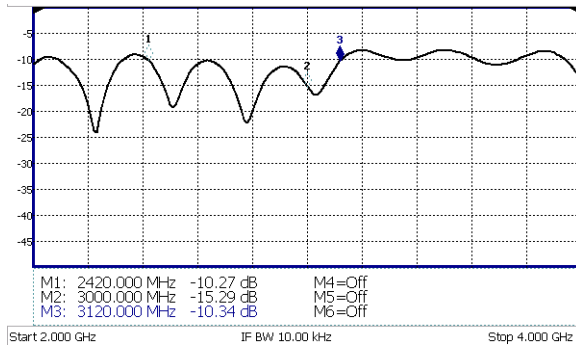
**Gambar 4.17.** S22 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



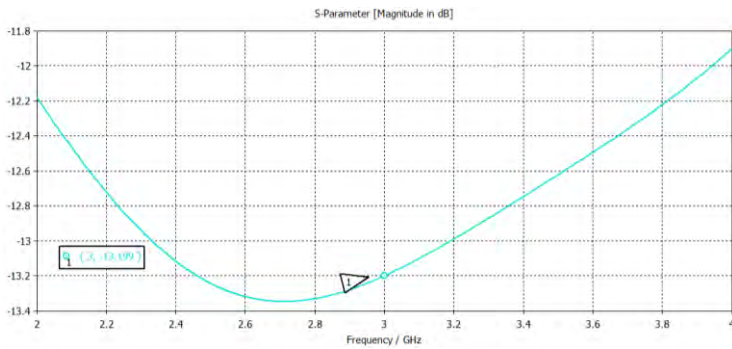
**Gambar 4.18.** S22 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS



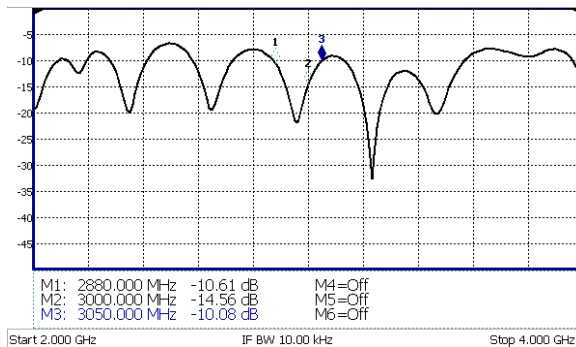
**Gambar 4.19.** S33 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



**Gambar 4.20.** S33 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS



**Gambar 4.21.** S44 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



**Gambar 4.22.** S44 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS

Dari gambar (4.15)–(4.22), nilai  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$  dan  $S_{44}$  yang menunjukkan besarnya *return loss* untuk *power combiner/divider 1 to 3* pada hasil simulasi dengan hasil fabrikasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.2.** Data *Return Loss* pada *Power Combiner/Divider 1 to 3*

<i>S-Parameter</i>	Hasil CST		Hasil NA	
	Di 3 GHz (dB)	BW (MHz)	Di 3 GHz (dB)	BW (MHz)
S <sub>11</sub>	-16.57	1737	-24.55	301
S <sub>22</sub>	-13.214	2000	-15.82	210
S <sub>33</sub>	-13.226	2000	-15.29	700
S <sub>44</sub>	-13.199	2000	-14.56	170

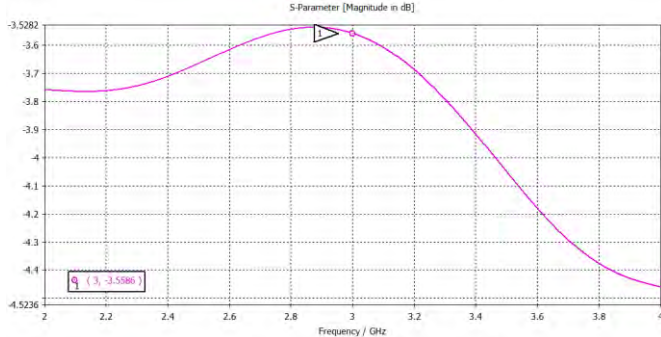
Berdasarkan tabel (4.2), maka dapat diketahui bahwa hasil simulasi dan pengukuran di NA terdapat selisih nilai. Pada  $S_{11}$  terdapat perbedaan sebesar 7.98 dB di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi. Pada  $S_{22}$  terdapat perbedaan sebesar 2.606 dB di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi. Pada  $S_{33}$  terdapat perbedaan sebesar 2.064 dB di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi. Pada  $S_{44}$  terdapat perbedaan sebesar 1.361 dB di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi.

Di samping itu, pada hasil simulasi maupun pengukuran di NA, nilai  $S_{22}$ ,  $S_{33}$ , dan  $S_{44}$  tidak mengalami perubahan nilai yang signifikan. Pada hasil simulasi selisih antara  $S_{22}$  dengan  $S_{33}$  sebesar 0.012 dB sedangkan pada pengukuran di NA selisih keduanya sebesar 0.53 dB. Pada hasil simulasi selisih antara  $S_{22}$  dengan  $S_{44}$  sebesar 0.015 dB sedangkan pada pengukuran di NA selisih keduanya sebesar 1.26 dB. Pada hasil simulasi selisih antara  $S_{33}$  dengan  $S_{44}$  sebesar 0.027 dB sedangkan pada pengukuran di NA selisih keduanya sebesar 0.73 dB.

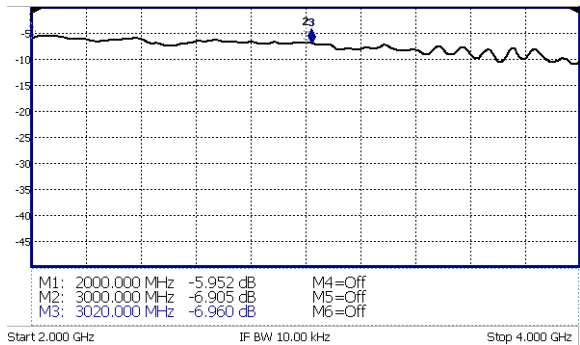
Dari hasil data pengukuran menggunakan NA diatas maka dapat dilihat bahwa nilai *return loss* terburuk terjadi pada *port 4* sebesar -11.23 dB. Unjuk kerja alat dilihat dari performansi terburuk pada masing-masing *port*. *Return loss* berpengaruh terhadap nilai VSWR dan *bandwidth* yang dapat dicapai pada suatu alat. Dengan melihat parameter yang ingin dicapai, nilai *return loss* hasil pengukuran masih memenuhi spesifikasi rancangan awal, yaitu  $\leq -10$  dB.

4.2.2 Insertion Loss

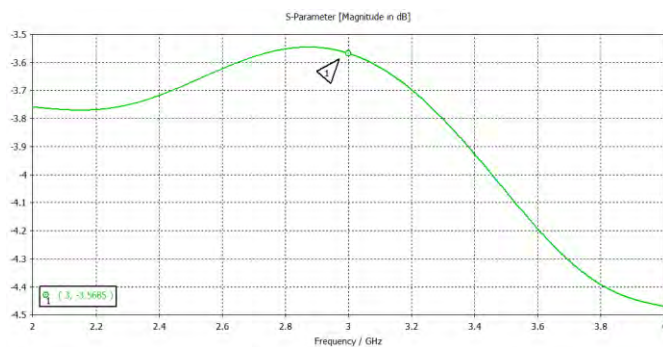
Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada simulasi dan fabrikasi untuk *power combiner/divider 1 to 2* :



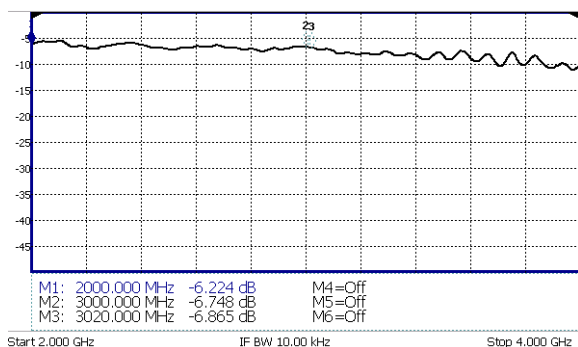
Gambar 4.23. S12 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS



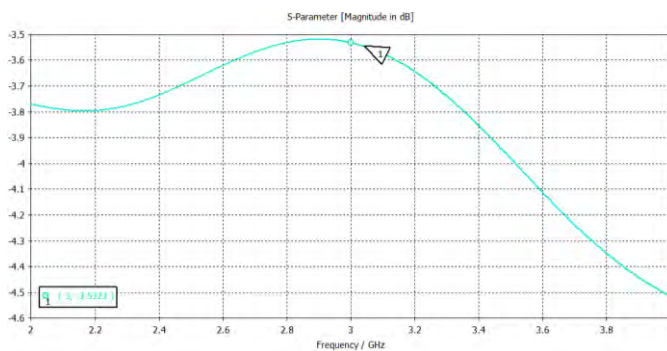
Gambar 4.24. S12 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA



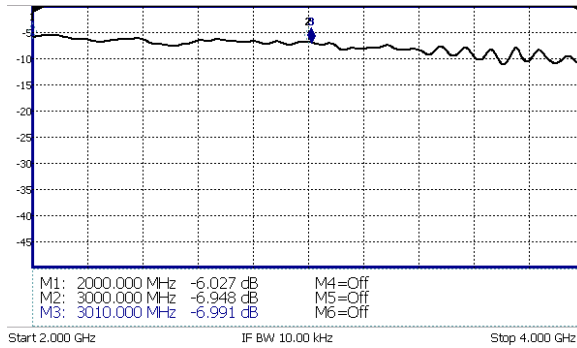
**Gambar 4.25.** S21 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS



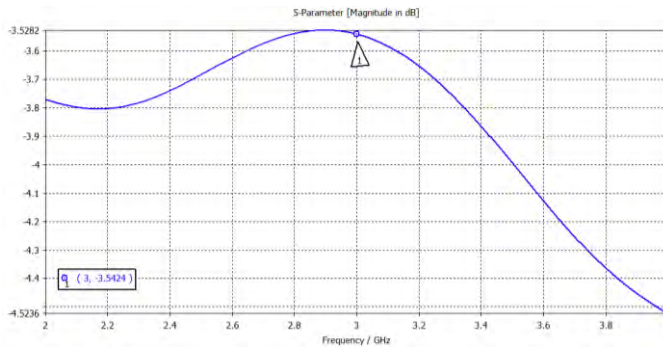
**Gambar 4.26.** S21 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA



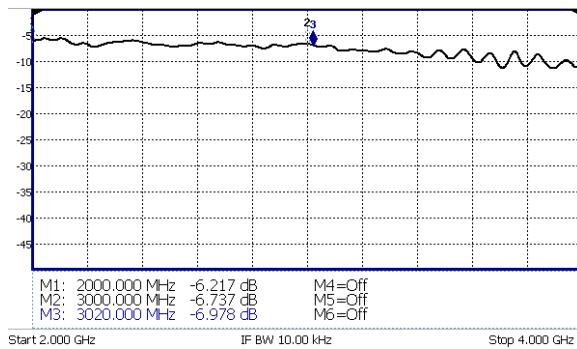
**Gambar 4.27.** S13 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS



**Gambar 4.28.** S13 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA



**Gambar 4.29.** S31 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS



**Gambar 4.30.** S31 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA

Dari gambar (4.23)–(4.30), nilai  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{13}$ , dan  $S_{31}$  yang menunjukkan besarnya *insertion loss* untuk *power combiner/divider 1 to 2* pada hasil simulasi dengan hasil fabrikasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.3.** Data *Insertion Loss* pada *Power Combiner/Divider 1 to 2*

<i>S-Parameter</i>	Hasil CST	Hasil NA
S12	-3.558	-6.905
S21	-3.568	-6.748
S13	-3.532	-6.948
S31	-3.542	-6.737

Berdasarkan tabel (4.3), maka dapat diketahui bahwa hasil simulasi dan pengukuran di NA terdapat selisih nilai. Pada  $S_{12}$  terdapat perbedaan sebesar 3.347 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{21}$  terdapat perbedaan sebesar 3.180 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{13}$  terdapat perbedaan sebesar 3.416 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{31}$  terdapat perbedaan sebesar 3.195 dB di frekuensi 3 GHz.

Di samping itu, pada hasil simulasi, nilai  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{13}$  dan  $S_{31}$  tidak mengalami perubahan nilai yang signifikan. Pada hasil simulasi selisih antara  $S_{12}$  dengan  $S_{21}$  sebesar 0.01. Sedangkan pada hasil pengukuran menggunakan NA selisih antara keduanya sebesar 0.157 dB. Pada hasil simulasi selisih antara  $S_{13}$  dengan  $S_{31}$  sebesar 0.01 dB. Sedangkan selisih antara keduanya dengan menggunakan NA adalah sebesar 0.211 dB.

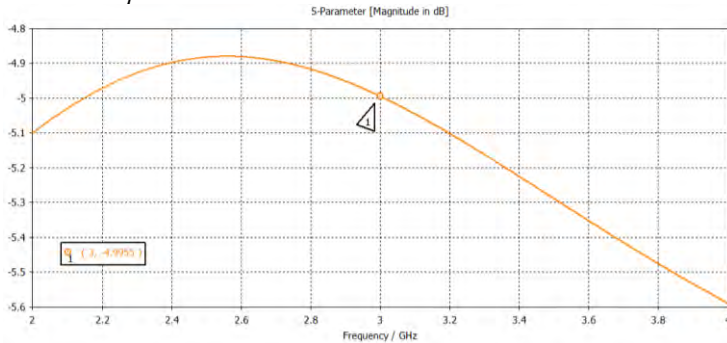
Dari hasil data pengukuran menggunakan NA diatas maka dapat dilihat bahwa nilai *insertion loss* terbesar terjadi pada *port 1-3* sebesar –6.948 dB. Artinya, selisih nilai *insertion loss* simulasi dengan pengukuran menggunakan NA pada *port 1-3* sebesar 3.416 dB. Nilai *insertion loss* antara *port 1-3* tidak memenuhi spesifikasi awal (toleransi *insertion loss*  $\leq 0.5$  dB), padahal idealnya nilai *insertion loss* untuk *power combiner/divider 1 to 2* adalah -3 dB. Penyimpangan ini artinya ada daya yang hilang. Faktor penyebabnya dapat dikarenakan oleh terganggunya pentransmisian daya dalam sistem yang diakibatkan konduktor bahan dan dielektik di sekitar perangkat saat proses pengukuran, faktor *bending*, panjang kabel, redaman kabel, atau pencatutan kabel dengan konduktor yang kurang sempurna.

Meskipun pada hasil pengukuran NA masing-masing *port* tidak memenuhi hasil spesifikasi, tetapi nilai *insertion loss* pada hasil simulasi

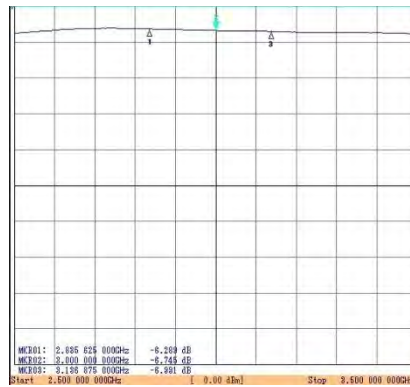


untuk port  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{13}$ , dan  $S_{31}$  sudah hampir memenuhi spesifikasi rancangan awal, yaitu -3 dB dengan toleransi  $\leq 0.5$  dB. Hal ini dapat disebabkan karena bergesernya jalur pada perancangan desain dan juga fabrikasi sehingga terjadi kehilangan daya.

Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada simulasi dan fabrikasi untuk *power combiner/divider 1 to 3* :

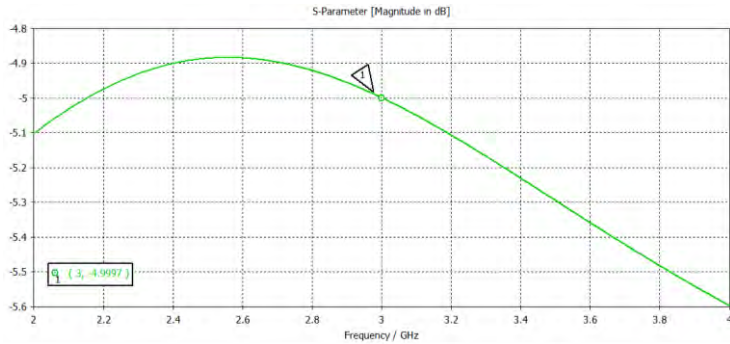


**Gambar 4.31.** S12 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS

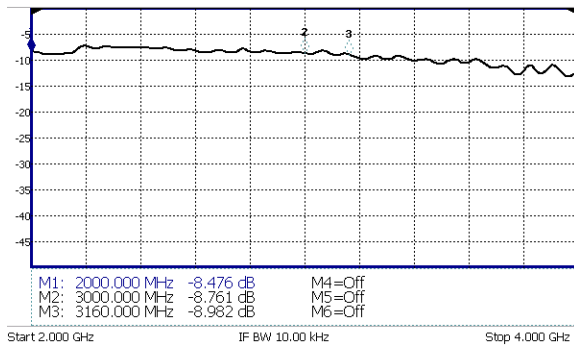


**Gambar 4.32.** S12 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di LIPI Bandung

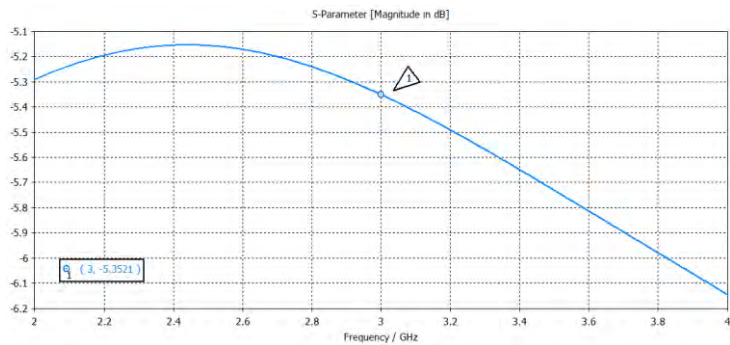
Pada gambar (4.32), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.835 625 000 GHz dengan *insertion loss* -6.289 dB, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan *insertion loss* -6.745 dB, dan MKR03 berada di frekuensi 3.136 875 000 GHz dengan *insertion loss* -6.991 dB.



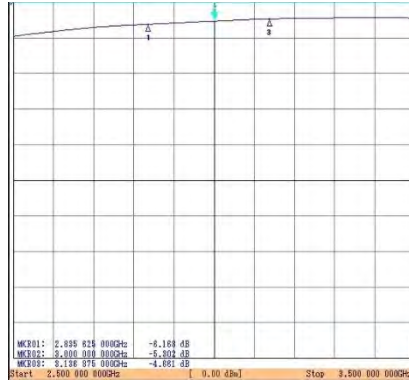
**Gambar 4.33.** S21 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



**Gambar 4.34.** S21 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS

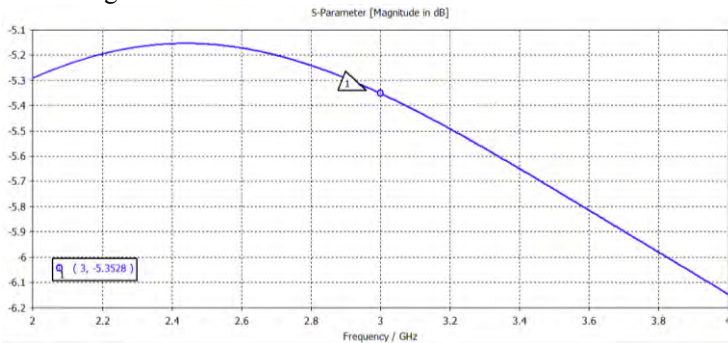


**Gambar 4.35.** S13 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS

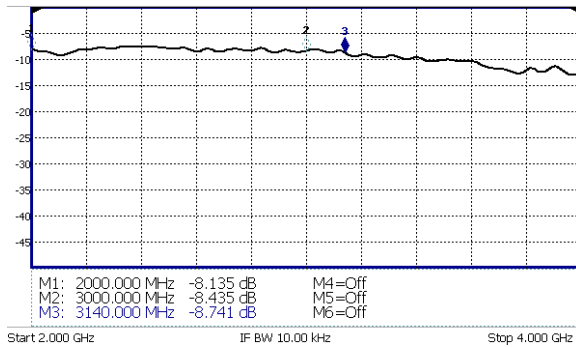


**Gambar 4.36.** S13 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di LIPI Bandung

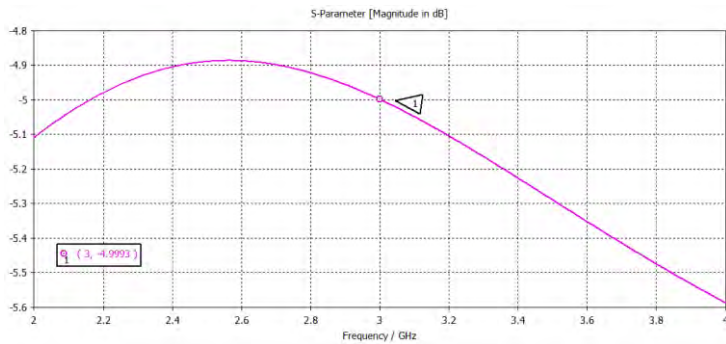
Pada gambar (4.36), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.835 625 000 GHz dengan *insertion loss* -6.168 dB, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan *insertion loss* -5.302 dB, dan MKR03 berada di frekuensi 3.136 875 000 GHz dengan *insertion loss* -4.661 dB.



**Gambar 4.37.** S11 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



**Gambar 4.38.** S31 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS

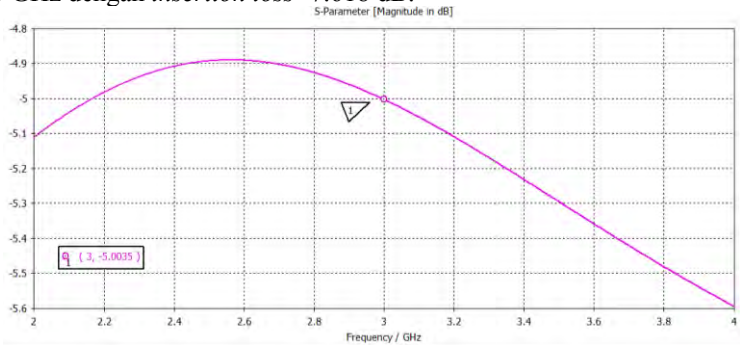


**Gambar 4.39.** S14 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS

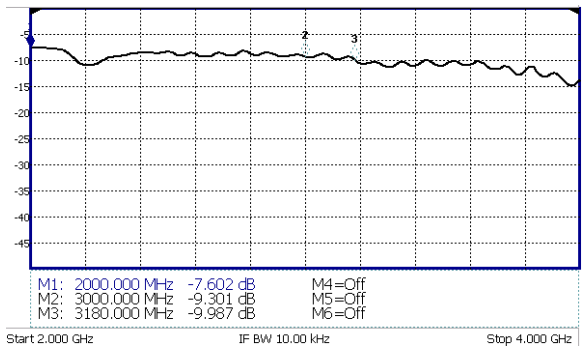


**Gambar 4.40.** S14 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di LIPI Bandung

Pada gambar (4.40), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.835 625 000 GHz dengan *insertion loss* -7.865 dB, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan *insertion loss* -7.717 dB, dan MKR03 berada di frekuensi 3.136 875 000 GHz dengan *insertion loss* -7.618 dB.



**Gambar 4.41.** S41 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



**Gambar 4.42.** S41 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS

Dari gambar (4.31) – (4.42), nilai  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{14}$  dan  $S_{41}$  yang menunjukkan besarnya *insertion loss* untuk *power combiner/divider 1 to 3* pada hasil simulasi dengan hasil fabrikasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.4.** Data *Insertion Loss* pada *Power Combiner/Divider 1 to 3*

<i>S-Parameter</i>	Hasil CST	Hasil NA
S <sub>12</sub>	-4.995	-6.745
S <sub>21</sub>	-4.999	-8.761
S <sub>13</sub>	-5.352	-5.302
S <sub>31</sub>	-5.352	-8.435
S <sub>14</sub>	-4.999	-7.717
S <sub>41</sub>	-5.003	-9.301

Berdasarkan tabel (4.4), maka dapat diketahui bahwa hasil simulasi dan pengukuran di NA terdapat selisih nilai. Pada  $S_{12}$  terdapat perbedaan sebesar 1.750 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{21}$  terdapat perbedaan sebesar 3.762 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{13}$  terdapat perbedaan sebesar 0.050 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{31}$  terdapat perbedaan sebesar 3.083 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{14}$  terdapat perbedaan sebesar 2.718 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{41}$  terdapat perbedaan sebesar 4.298 dB di frekuensi 3 GHz.

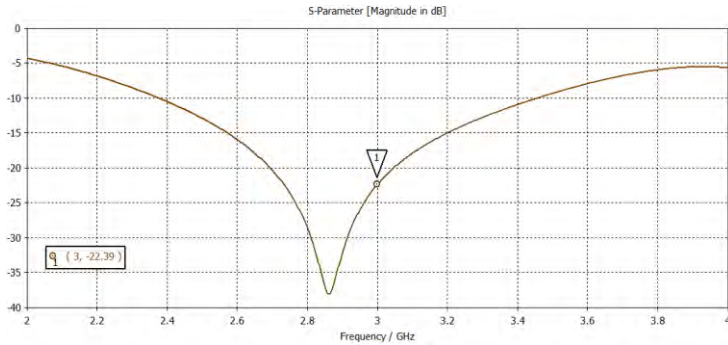
Di samping itu, pada hasil simulasi, nilai  $S_{12}$  dan  $S_{21}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{14}$  dan  $S_{41}$  tidak mengalami perubahan nilai yang signifikan. Pada hasil simulasi nilai antara  $S_{13}$  dengan  $S_{31}$  adalah sama. Pada hasil simulasi selisih antara  $S_{12}$  dengan  $S_{21}$  sebesar 0.005 dB dan selisih antara  $S_{14}$  dengan  $S_{41}$  sebesar 0.004 dB. Namun, pada hasil pengukuran menggunakan NA selisih antara  $S_{12}$  dengan  $S_{21}$  adalah sebesar 2.016 dB, selisih antara  $S_{13}$  dengan  $S_{31}$  adalah sebesar 3.133 dB, dan selisih antara  $S_{14}$  dengan  $S_{41}$  adalah sebesar 1.584 dB.

Dari hasil data pengukuran menggunakan NA diatas maka dapat dilihat bahwa nilai *insertion loss* terbesar terjadi pada *port* 4-1 sebesar -9.301 dB. Artinya, selisih nilai *insertion loss* pada simulasi dengan hasil pengukuran menggunakan NA pada *port* 4-1 sebesar 4.298 dB. Nilai *insertion loss* antara *port* 4-1 tidak memenuhi spesifikasi awal (toleransi *insertion loss*  $\leq 0.5$  dB), padahal idealnya nilai *insertion loss* untuk *power combiner/divider 1 to 3* adalah -4.77 dB.

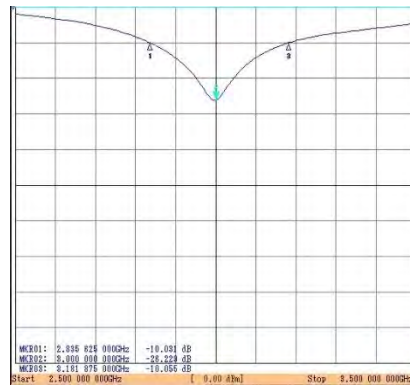
Meskipun pada hasil pengukuran NA *port* 4-1 tidak memenuhi hasil spesifikasi, tetapi nilai *insertion loss* pada hasil simulasi untuk *port*  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{14}$ , dan  $S_{41}$  sudah memenuhi spesifikasi rancangan awal, yaitu -4.77 dB dengan toleransi  $\leq 0.5$  dB.

#### 4.2.3 Isolation Loss

Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada simulasi dan fabrikasi untuk *power combiner/divider 1 to 2* :

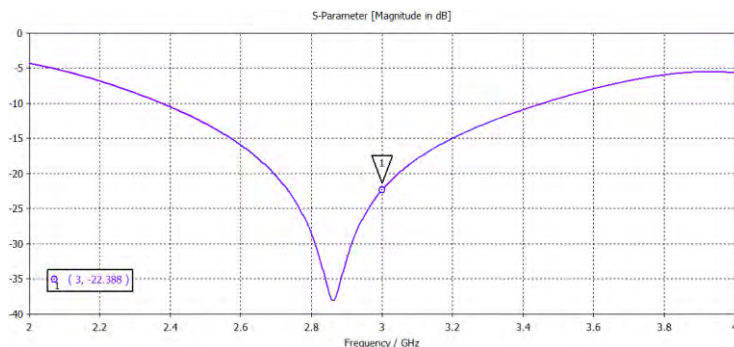


**Gambar 4.43.** S23 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS

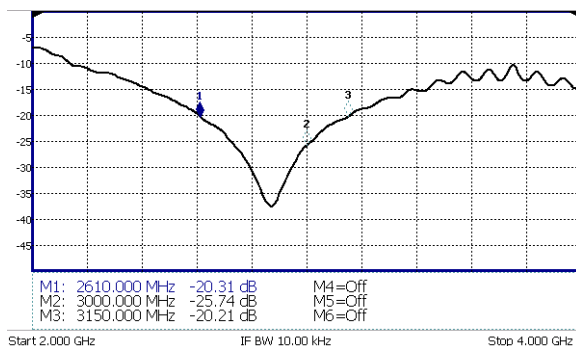


**Gambar 4.44.** S23 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA di LIPI Bandung

Pada gambar (4.44), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.835 625 000 GHz dengan *isolation loss* -10.031 dB, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan *isolation loss* -26.229 dB, dan MKR03 berada di frekuensi 3.181 875 000 GHz dengan *isolation loss* -10.055 dB.



**Gambar 4.45.** S32 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS



**Gambar 4.46.** S32 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA

Dari gambar (4.43)–(4.46), nilai  $S_{23}$  dan  $S_{32}$  yang menunjukkan besarnya *isolation loss* untuk *power combiner/divider 1 to 2* pada hasil simulasi dengan hasil fabrikasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.5.** Data *Isolation Loss* pada *Power Combiner/Divider 1 to 2*

<i>S-Parameter</i>	Hasil CST	Hasil NA
$S_{23}$	-22.390	-26.229
$S_{32}$	-22.388	-25.740

Berdasarkan tabel (4.5), maka dapat diketahui bahwa hasil simulasi dan pengukuran di NA terdapat selisih nilai. Pada  $S_{23}$  terdapat perbedaan

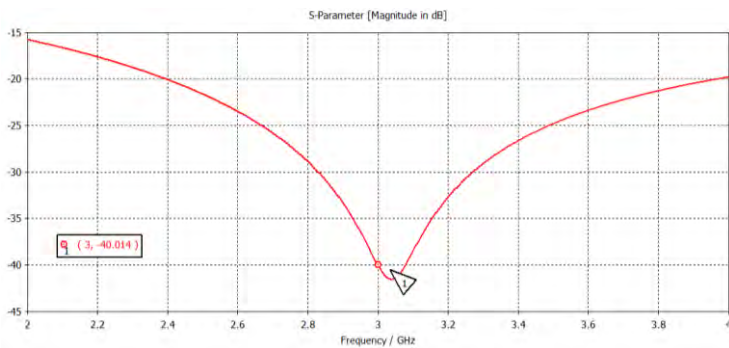


sebesar 3.839 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{32}$  terdapat perbedaan sebesar 3.352 dB di frekuensi 3 GHz.

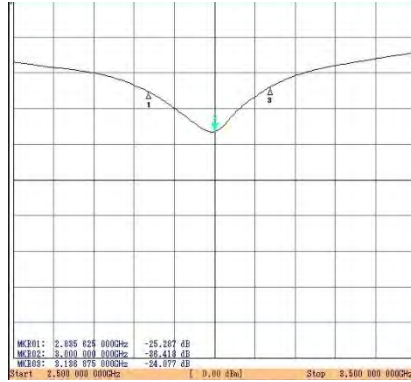
Di samping itu, pada hasil simulasi maupun pengukuran di NA, nilai  $S_{23}$  dan  $S_{32}$  tidak mengalami perubahan nilai yang signifikan. Pada hasil simulasi selisih keduanya hanya sebesar 0.002 dB sedangkan pada pengukuran di NA selisih keduanya hanya sebesar 0.489 dB.

Dari hasil data pengukuran menggunakan NA diatas maka dapat dilihat bahwa nilai *isolation loss* terburuk terjadi pada *port* 2-3 sebesar -26.229 dB. Meskipun demikian, nilai *isolation loss* tersebut sudah memenuhi spesifikasi awal (isolasi  $\leq -20$  dB). Isolasi pada *power combiner/divider* dapat didefinisikan sebagai redaman yang diperoleh antara sinyal yang masuk pada tiap *port output*, yang mana level redamannya diukur pada tiap *port output* lainnya dengan kondisi *port input* dideterminasi beban 50  $\Omega$ . Dengan kata lain, pengukuran isolasi adalah membandingkan antara dua saluran pada *port output* jika salah satunya diberi sinyal masukan. Semakin kecil nilai *isolation loss* maka redaman yang diperoleh juga semakin kecil. Hal ini dapat diartikan bahwa daya pantul dari *port input* yang masuk ke *port output* lainnya semakin kecil.

Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada simulasi dan fabrikasi untuk *power combiner/divider 1 to 3* :

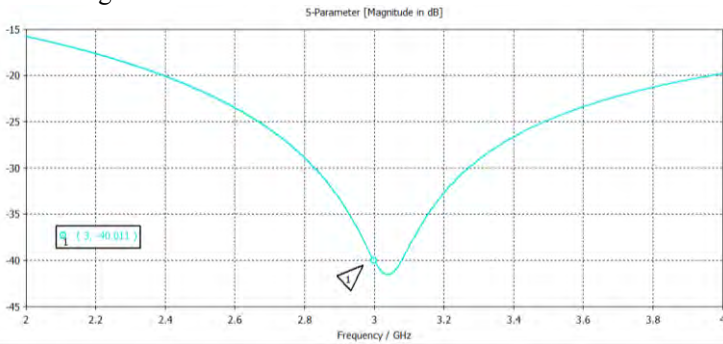


**Gambar 4.47.** S23 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS

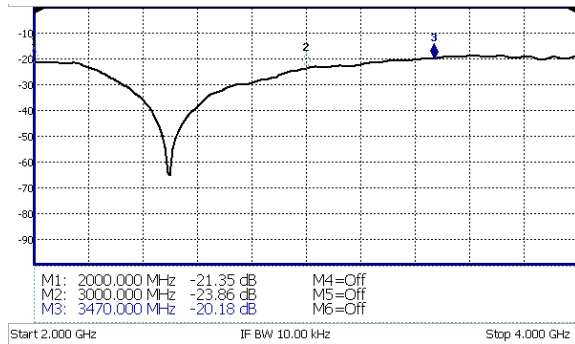


**Gambar 4.48.** S23 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di LIPI Bandung

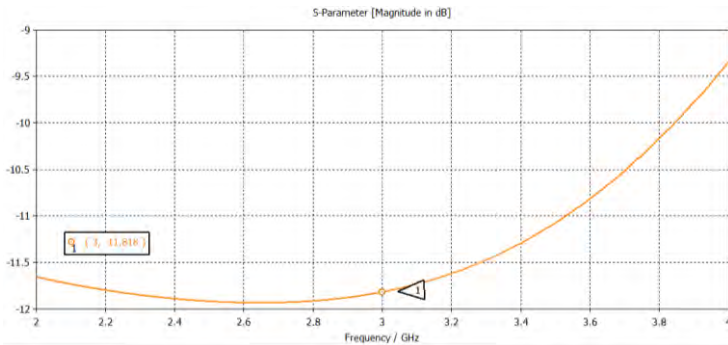
Pada gambar (4.48), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.835 625 000 GHz dengan *isolation loss* -25.287 dB, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan *isolation loss* -36.418 dB, dan MKR03 berada di frekuensi 3.136 875 000 GHz dengan *isolation loss* -24.077 dB.



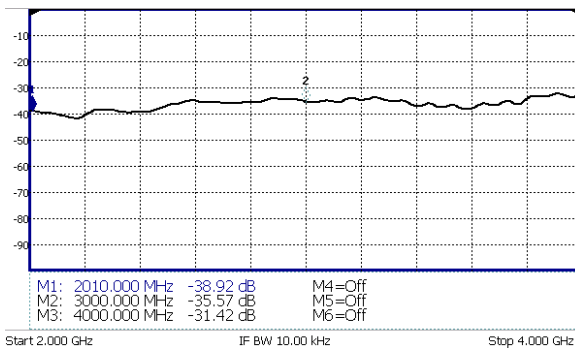
**Gambar 4.49.** S32 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



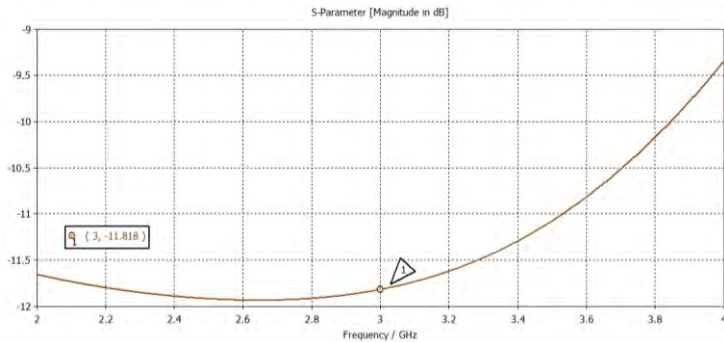
**Gambar 4.50.** S32 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS



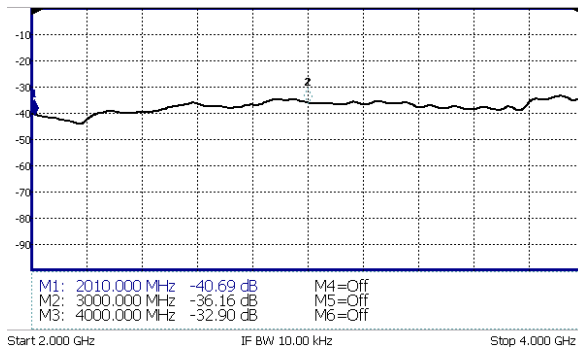
**Gambar 4.51.** S24 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



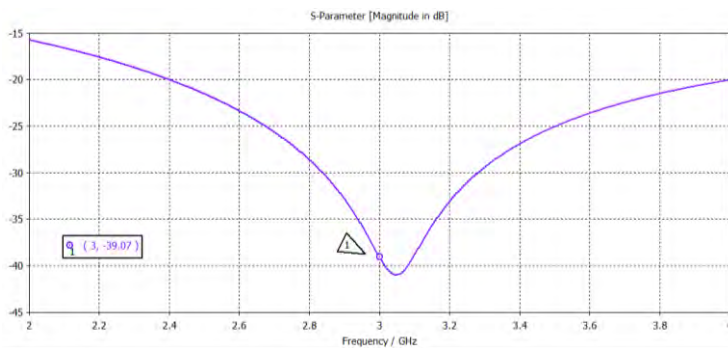
**Gambar 4.52.** S24 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS



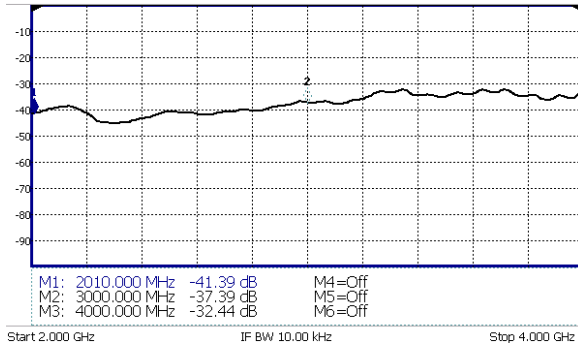
**Gambar 4.53.** S42 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



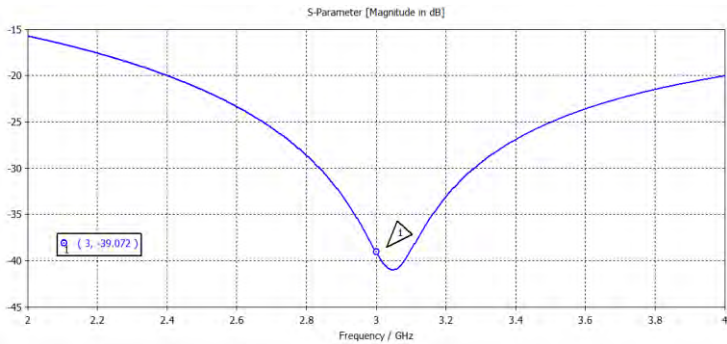
**Gambar 4.54.** S42 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS



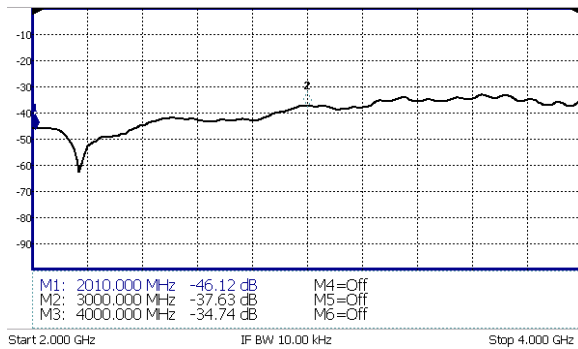
**Gambar 4.55.** S34 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



**Gambar 4.56.** S34 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS



**Gambar 4.57.** S43 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS



**Gambar 4.58.** S43 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA di B.306 ITS

Dari gambar (4.47)– (4.58), nilai  $S_{23}$ ,  $S_{32}$ ,  $S_{24}$ ,  $S_{42}$ ,  $S_{34}$  dan  $S_{43}$  yang menunjukkan besarnya *isolation loss* untuk *power combiner/divider 1 to 3* pada hasil simulasi dengan hasil fabrikasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.6.** Data *Isolation Loss* pada *Power Combiner/Divider 1 to 3*

<i>S-Parameter</i>	Hasil CST	Hasil NA
S23	-40.014	-36.418
S32	-40.011	-23.860
S24	-11.818	-35.570
S42	-11.818	-36.160
S34	-39.070	-37.390
S43	-39.072	-37.360

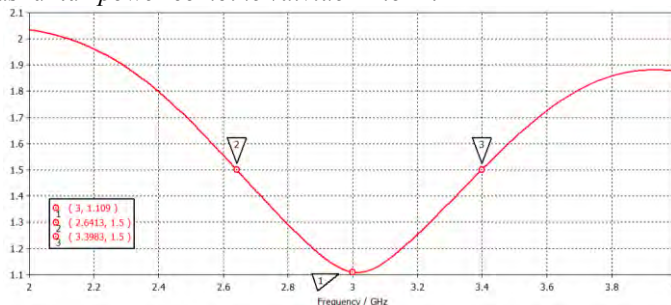
Berdasarkan tabel (4.6), maka dapat diketahui bahwa hasil simulasi dan pengukuran di NA terdapat selisih nilai. Pada  $S_{23}$  terdapat perbedaan sebesar 3.596 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{32}$  terdapat perbedaan sebesar 16.151 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{24}$  terdapat perbedaan sebesar 23.752 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{42}$  terdapat perbedaan sebesar 24.342 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{34}$  terdapat perbedaan sebesar 1.68 dB di frekuensi 3 GHz. Pada  $S_{43}$  terdapat perbedaan sebesar 1.712 dB di frekuensi 3 GHz.

Di samping itu, pada hasil simulasi, nilai  $S_{23}$  dan  $S_{32}$ ,  $S_{24}$  dan  $S_{42}$ ,  $S_{34}$  dan  $S_{43}$  tidak mengalami perubahan nilai yang signifikan. Pada hasil simulasi nilai antara  $S_{23}$  dengan  $S_{32}$  adalah sebesar 0.003 dB. Pada hasil  $S_{24}$  dengan  $S_{42}$  adalah sama. Pada hasil simulasi selisih antara  $S_{34}$  dengan  $S_{43}$  adalah sebesar 0.002 dB. Namun, pada hasil pengukuran menggunakan NA selisih antara  $S_{23}$  dengan  $S_{32}$  adalah sebesar 12.558 dB, selisih antara  $S_{24}$  dengan  $S_{42}$  adalah sebesar 0.59 dB, dan selisih antara  $S_{34}$  dengan  $S_{43}$  adalah sebesar 0.030 dB.

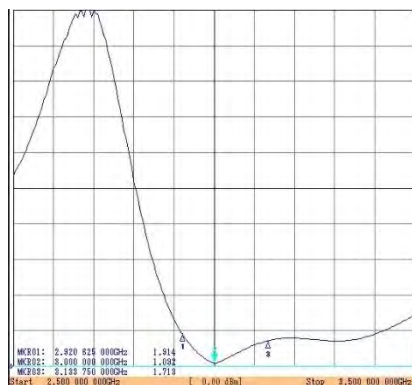
Dari hasil data pengukuran menggunakan NA diatas maka dapat dilihat bahwa nilai *isolation loss* terburuk terjadi pada *port 3-2* sebesar -23.860 dB. Meskipun demikian, hasil pengukuran NA sudah lebih baik dibanding hasil pada simulasi dan sudah memenuhi spesifikasi (isolasi  $\leq -20$  dB). Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi besar kecilnya isolasi antar *port output*, antara lain pergeseran dimensi jalur *power combiner/divider* dari ukuran sebenarnya yang tidak dapat dihindari saat fabrikasi, sehingga menyebabkan *missmatched*.

#### 4.2.4 Voltage Standing Wave Ratio

Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada simulasi dan fabrikasi untuk *power combiner/divider 1 to 2* :

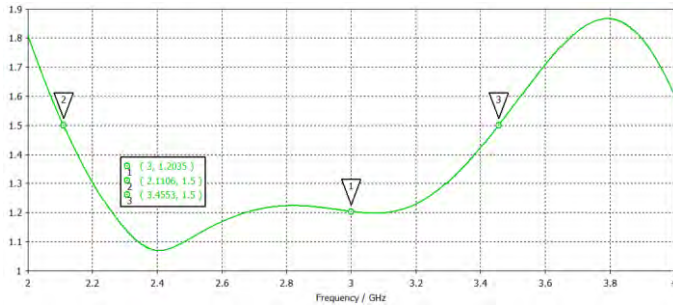


**Gambar 4.59.** VSWR port 1 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada CST MWS

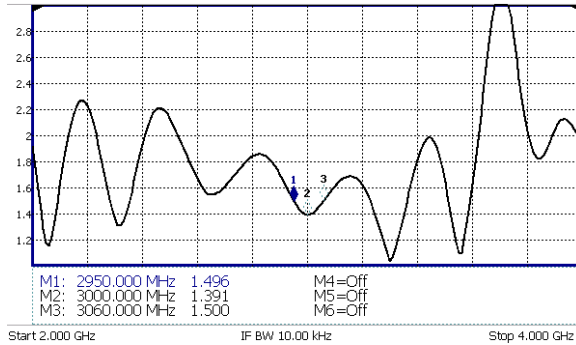


**Gambar 4.60.** VSWR port 1 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA di LIPI Bandung

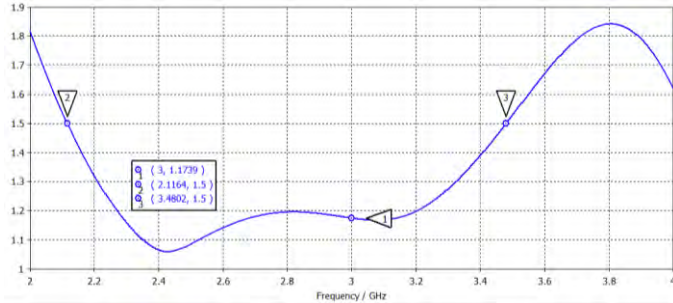
Pada gambar (4.60), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.320 625 000 GHz dengan VSWR 1.914, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan VSWR 1.092, dan MKR03 berada di frekuensi 3.133 750 000 GHz dengan VSWR 1.713.



**Gambar 4.61.** VSWR port 2 untuk Power Combiner/Divider 1 to 2 pada CST MWS

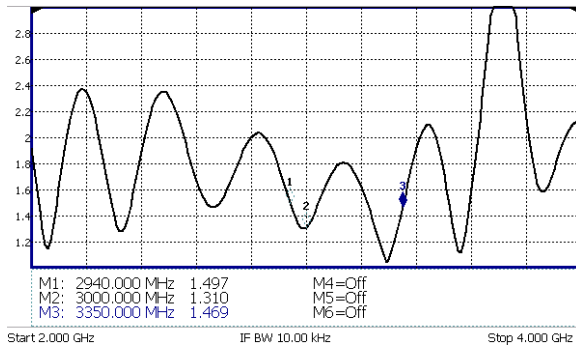


**Gambar 4.62.** VSWR port 2 untuk Power Combiner/Divider 1 to 2 pada NA di B.306 ITS



**Gambar 4.63.** VSWR port 3 untuk Power Combiner/Divider 1 to 2 pada CST MWS





**Gambar 4.64.** VSWR *port 3* untuk *Power Combiner/Divider 1 to 2* pada NA di B.306 ITS

Dari gambar (4.59)–(4.64), nilai VSWR 1, 2, dan 3 yang menunjukkan seberapa *match* untuk *power combiner/divider 1 to 2* pada hasil simulasi dengan hasil fabrikasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.7.** Data VSWR pada *Power Combiner/Divider 1 to 2*

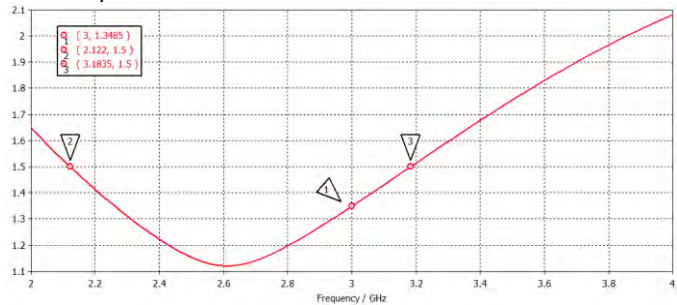
VSWR	Hasil CST		Hasil NA	
	Di 3 GHz (dB)	BW (MHz)	Di 3 GHz (dB)	BW (MHz)
<i>Port 1</i>	1.109	757	1.092	-
<i>Port 2</i>	1.203	1345	1.391	110
<i>Port 3</i>	1.173	1364	1.310	410

Berdasarkan tabel (4.7), maka dapat diketahui bahwa hasil simulasi dan pengukuran di NA terdapat selisih nilai. Pada VSWR *port 1* terdapat perbedaan sebesar 0.017 di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA tidak dapat dibandingkan karena batas atas dan batas bawah frekuensi pada NA tidak sempat diatur dengan batas VSWR 1.5. Pada VSWR *port 2* terdapat perbedaan sebesar 0.188 di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi. Pada VSWR *port 3* terdapat perbedaan sebesar 0.137 di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi.

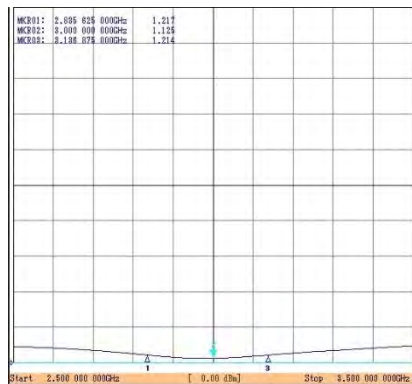
Dari hasil data pengukuran menggunakan NA diatas maka dapat dilihat bahwa nilai VSWR terburuk terjadi pada *port 2* sebesar 1.391.

Meskipun demikian, nilai ini sudah memenuhi spesifikasi awal, yaitu  $VSWR \leq 1.5$ .

Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada simulasi dan fabrikasi untuk *power combiner/divider 1 to 3* :

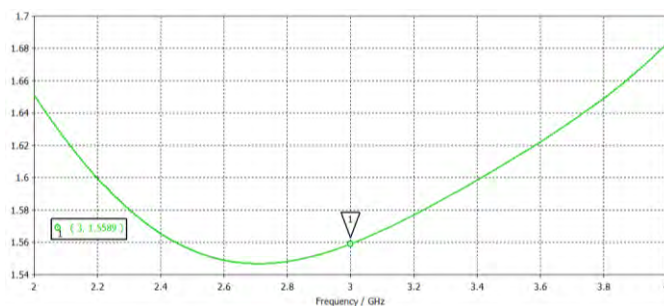


**Gambar 4.65.** VSWR port 1 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada CST MWS

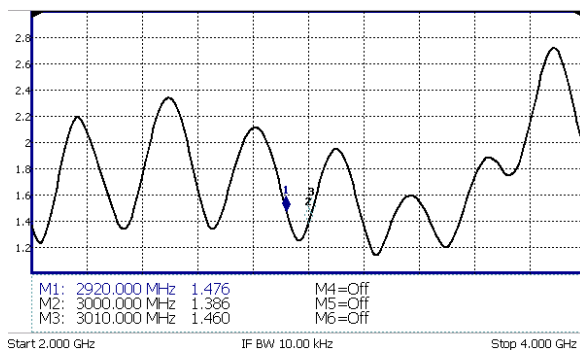


**Gambar 4.66.** VSWR port 1 untuk *Power Combiner/Divider 1 to 3* pada NA

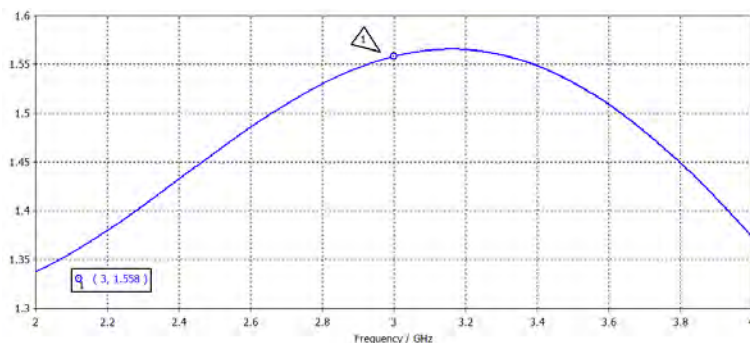
Pada gambar (4.66), tampilan NA menunjukkan *start* frekuensi dari 2.5 GHz dan *stop* frekuensi 3.5 GHz. Terdapat tiga *marker* yang ditunjukkan dengan MKR01 berada di frekuensi 2.835 625 000 GHz dengan VSWR 1.217, kemudian MKR02 berada di frekuensi 3.000 000 000 GHz dengan VSWR 1.125, dan MKR03 berada di frekuensi 3.136 875 000 GHz dengan VSWR 1.214.



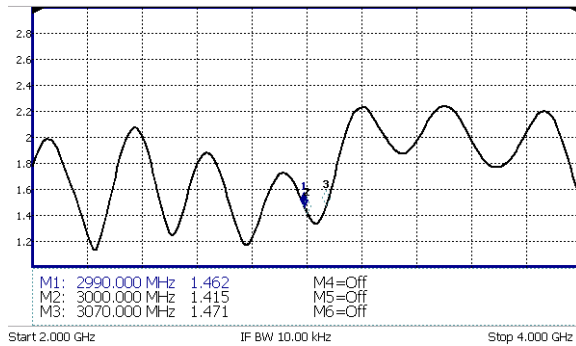
**Gambar 4.67.** VSWR port 2 untuk Power Combiner/Divider 1 to 3 pada CST MWS



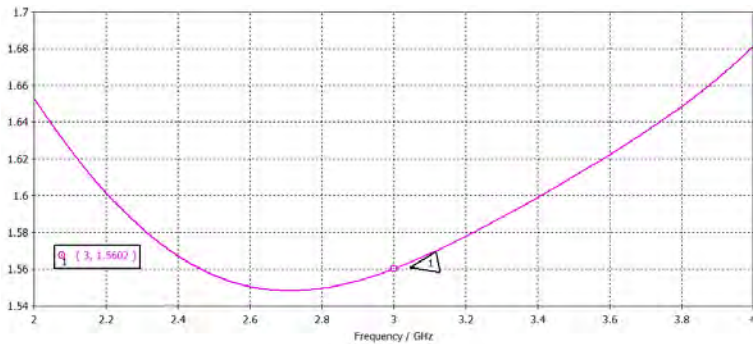
**Gambar 4.68.** VSWR port 2 untuk Power Combiner/Divider 1 to 3 pada NA



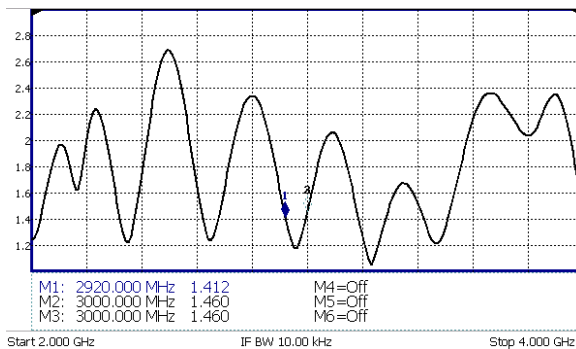
**Gambar 4.69.** VSWR port 3 untuk Power Combiner/Divider 1 to 3 pada CST MWS



**Gambar 4.70.** VSWR *port* 3 untuk *Power Combiner/Divider* 1 to 3 pada NA



**Gambar 4.71.** VSWR *port* 4 untuk *Power Combiner/Divider* 1 to 3 pada CST MWS



**Gambar 4.72.** VSWR *port* 4 untuk *Power Combiner/Divider* 1 to 3 pada NA

Dari gambar (4.65) – (4.72), nilai VSWR 1, 2, 3, dan 4 yang menunjukkan seberapa *match* untuk *power combiner/divider 1 to 3* pada hasil simulasi dengan hasil fabrikasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.8.** Data VSWR pada *Power Combiner/Divider 1 to 3*

VSWR	Hasil CST		Hasil NA	
	Di 3 GHz (dB)	BW (MHz)	Di 3 GHz (dB)	BW (MHz)
<i>Port 1</i>	1.348	1061	1.125	301
<i>Port 2</i>	1.558	-	1.386	30
<i>Port 3</i>	1.558	-	1.415	-
<i>Port 4</i>	1.560	-	1.460	60

Berdasarkan tabel (4.8), maka dapat diketahui bahwa hasil simulasi dan pengukuran di NA terdapat selisih nilai. Pada VSWR *port 1* terdapat perbedaan sebesar 0.223 di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di NA lebih sempit dibanding hasil simulasi. Pada VSWR *port 2* terdapat perbedaan sebesar 0.172 di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di hasil simulasi tidak dapat dibandingkan karena batas atas dan batas bawah frekuensi pada hasil simulasi melebihi batas VSWR yang ingin dicapai. Pada VSWR *port 3* terdapat perbedaan sebesar 0.143 di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* tidak dapat ditentukan karena baik pada hasil simulasi maupun pada NA batas VSWR yang ingin dicapai tidak terpenuhi. Pada VSWR *port 4* terdapat perbedaan sebesar 0.100 di frekuensi 3 GHz dan *bandwidth* berdasarkan pengukuran di hasil simulasi tidak dapat dibandingkan karena batas atas dan batas bawah frekuensi pada hasil simulasi maupun pada NA melebihi batas VSWR yang ingin dicapai.

Dari hasil data pengukuran menggunakan NA diatas maka dapat dilihat bahwa nilai VSWR terburuk terjadi pada *port 4* sebesar 1.460. Meskipun demikian, nilai ini sudah memenuhi spesifikasi awal, yaitu VSWR  $\leq 1.5$ .

### 4.3 Sintesis

Tugas akhir ini berkaitan dengan penelitian mengenai rancang bangun *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* yang kelak dapat digunakan untuk aplikasi radar pada frekuensi *S Band* yang berbasis SDR dan dengan antenna mikrostrip *array*.

Perencanaan dalam pembuatan *power combiner/divider* didapatkan dari penggunaan rumus pada *paper* yang membahas tentang *N-Way Wilkinson Power Combiner/Divider* yang pernah dibahas oleh beberapa penulis. Dari rumus yang didapat, akan dihasilkan cara mencari dimensi *power combiner/divider*, yaitu panjang dan lebar saluran *input*, *output*, dan juga pada transformator  $\lambda/4$ . Ukuran panjang dan lebar saluran pada masing-masing saluran tersebut harus saling memenuhi impedansi, seperti impedansi karakteristik pada saluran *input* dan *output* yang dibuat sama dengan  $50 \Omega$  agar dapat saling *matched*, dan impedansi transformator  $\lambda/4$  yang disesuaikan dengan jumlah *port output*.

Dimensi hasil perhitungan secara teoritis diterapkan menggunakan *software* untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan, seperti *return loss*  $\leq -10$  dB dan  $VSWR \leq 1.5$  dimana semakin kecil nilainya maka semakin *match* saluran transmisinya. Lalu, besar *insertion loss* untuk *power combiner/divider 1 to 2* yaitu -3 dB dan untuk *power combiner/divider 1 to 3* yaitu -4.77 dB dimana pembagian daya akan sama rata disesuaikan dengan jumlah *output*-nya. Dan besar isolasi antar *port output*  $\leq -20$  dB dimana semakin kecil nilainya maka tidak ada sinyal yang berinterferensi diantara masing-masing *port output*-nya.

Ketika hasil simulasi pada *software* telah sesuai spesifikasi yang diinginkan, maka desain dapat difabrikasi dan dilakukan pengukuran. Pengukuran menggunakan *network analyzer* dimana hasilnya yang berupa *S-Parameter* dan *bandwidth* dapat dibandingkan dengan hasil simulasi. Hasil *return loss* pada *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Namun, hasil *insertion loss* pada *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* masih belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan, karena *loss* yang dihasilkan masih melebihi -3 dB dan -4.77 dB. Di sisi lain, nilai isolasi antar *output* pada *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Begitu pula dengan besar  $VSWR$  yang juga sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Dengan hasil yang telah dilampirkan pada bab sebelumnya, maka rancang bangun *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* yang diusulkan pada tugas akhir ini dapat diimplementasikan dalam sistem radar untuk menggabungkan beberapa antena mikrostrip yang tersusun secara *array*. Meskipun, efisiensinya belum 100%, rancangan ini masih dapat dioptimalisasi atau digabungkan dengan perangkat lain guna menghasilkan pembagian daya yang sama rata pada setiap *port output*-nya.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

Setelah dilakukan pengambilan data dan melakukan analisis terhadap data hasil pengukuran, maka dapat ditarik kesimpulan terkait desain pada simulasi dan fabrikasi juga saran yang dapat digunakan untuk pengembangan dan penelitian diwaktu yang akan datang.

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil perancangan *power combiner/divider* ini adalah:

1. Hasil pengukuran *return loss* pada *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* sudah memenuhi spesifikasi  $\leq -10$  dB.
2. Hasil pengukuran *insertion loss* pada *power combiner/divider 1 to 2* berkisar pada -6.737 sampai dengan -6.948 yang menunjukkan bahwa hasil fabrikasi tidak memenuhi spesifikasi toleransi  $\leq 0.5$  dB dari ideal *insertion loss* -3 dB. Dan untuk hasil pengukuran *insertion loss* pada *power combiner/divider 1 to 3* berkisar pada -5.302 sampai dengan -9.301 yang juga menunjukkan bahwa hasil fabrikasi tidak memenuhi spesifikasi toleransi  $\leq 0.5$  dB dari ideal *insertion loss* -4.77 dB.
3. Hasil pengukuran *isolation loss* pada *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* sudah memenuhi spesifikasi  $\leq -20$  dB.
4. Hasil pengukuran VSWR pada *power combiner/divider 1 to 2* dan *1 to 3* sudah memenuhi hasil spesifikasi  $\leq 1.5$ .

#### **5.2 Saran**

Saran untuk perancangan *power combiner/divider* yaitu :

1. Melakukan optimasi rancangan pada simulasi terkait panjang dan lebar dimensi yang dapat mempengaruhi spesifikasi yang diinginkan
2. Memperhatikan tempat untuk fabrikasi beserta bahan yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan salah satu faktor performansi perangkat yaitu kepresisiannya dapat mengalami perubahan saat difabrikasi.



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haupt, Randy L., 2010. *Antenna Arrays A Computational Approach*. United States of America : John Wiley & Sons.
- [2] C. Kalialakis, 2013. *Feasibility of Microstrip Wilkinson Power Dividers on FR4 Substrates for L-Band (1-2 GHz) Applications*. High Frequency Electronics.
- [3] Maulana, A. *Radar*. [Online]. Tersedia : <http://idkf.bogor.net/yuesbi/e-DU.KU/edukasi.net/Transportasi/Radar%28HASAN%29%20-%20upload/semua.html>. (25 November 2015)
- [4] Fauzi, Rahmad. *Defined Radio (SDR)*. Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara.
- [5] Jeffrey S. B dan Gary M. M. 2008. *Modern Electronic Communication 9th Edition*. Halaman : 4–5.
- [6] D.M. Pozar. 2005. *Microwave Engineering*. New York : John Wiley & Sons Inc.
- [7] A. Nassiri. 2003. *Lecture 10 Power Dividers and Couplers June 19, 2003*. Diambil dari : [www.documents.mx/documents/lecture-10-558461e83ab5](http://www.documents.mx/documents/lecture-10-558461e83ab5) (14 September 2015).
- [8] L. Reinhold and B.Pavel. 2000. *RF Circuit Design Theory and Applications*. United States of America : Prentice Hall.
- [9] Hendrick. Trafo Lambda/4. Diambil dari : [www.creativenanomed.blogspot.co.id/2011/02/trafo-lambda4.html](http://www.creativenanomed.blogspot.co.id/2011/02/trafo-lambda4.html) (Desember, 2015)
- [10] [www.cst.com](http://www.cst.com)
- [11] <http://www.metrictest.com/>
- [12] <http://www.rfcoaxconnectors.com/>
- [14] Garg R, Bhartia P, Bahl I, dan Ittipiboon A. 2001. *Microstrip Antenna Design Handbook*. London : Artech House.
- [15] Maurin D dan Ke Wu. 1996. *A Compact 1,7 – 2,1 GHz Three-Way Power Combiner Using Microstrip Technology with Better Than 93,8% Combining Efficiency*. IEEE Microwave and Guided Wave Letters. Volume 6 No.2 : 106-108.
- [16] Berens, Logan J. 2012. *Design, Analysis, and Construction of an Equal Split Wilkinson Power Divider*. Milwaukee: Master's Theses (2009), Paper 154.

- [17] Emelya S.D, Setijadi E, dan Hendrantoro G. 2012. *Desain Antena Mikrostrip untuk Satelit S-Band pada Frekuensi 2,4 GHz*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [18] Grebennikov, Andrei. 2008. *Power Combiners, Impedance Transformers and Directional Coupler : Part II*. High Frequency Electronics.
- [19] K. Sandeep and K.Mithilesh. 2014. *Modified Wilkinson Compact Wide Band (2-12 GHZ) Equal Power Divider*. Rajasthan: American Journal of Engineering Research, Volume 3, Issue 10, pp. 90-98
- [20] Marbun , A.J. 2008. *Rancang Bangun Chebyshev Power Combiner 2:1 Frekuensi 2400 MHz Menggunakan PCB*. Depok : Universitas Indonesia.
- [21] Purwanto, Ari. 2009. *Rancang Bangun Power Splitter 1:2 Frekuensi 935-960 MHz Menggunakan Stripline*. Depok : Universitas Indonesia.
- [22] Taufiqurrahman dan Deni Permana K. 2012. *Design and Realization Wilkinson Power Divider at Frequency 2400 MHz for Radar S-Band*. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering Volume 3 Issue 6 : 26 -30.

## LAMPIRAN

### Dokumentasi Pengukuran



**Gambar 6.1.** Pengukuran Alat di LIPI Bandung



**Gambar 6.2.** Pengukuran Alat di Laboratorium Antena dan Propagasi Ruang B.306 ITS

## Pengesahan Proposal

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri - ITS

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

17 SEP 2015

Nama Mahasiswa : Hidayah  
Nomor Pokok : 2211 100 016  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2015/2016  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
2. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.  
Judul Tugas Akhir : **Rancang Bangun Power Combiner/Divider untuk Antena Array pada Frekuensi S Band untuk Sistem Radar Berbasis Software Defined Radio**  
(*Design of Power Combiner/Divider for Antenna Array in S Band Frequency for Radar System Based on Software Defined Radio*)

### Uraian Tugas Akhir :

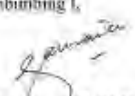
Penggunaan Radar (*Radio Detection and Ranging*) telah banyak digunakan dalam mendeteksi suatu objek. Kemerja teknologi radar menggunakan antena mikrostrip akan lebih praktis, murah dan mudah dalam fabrikasi.


Dalam tugas akhir ini dibuat suatu *power combiner/divider* yang akan digunakan dalam sistem radar pada frekuensi S Band (2-4 GHz) untuk menggabungkan atau membagi catuan daya pada antena array-nya. Penggabug dan pembagi daya itu sendiri berupa *Power Combiner/Divider 1 to 2* dan *1 to 3* dengan menggunakan metode Wilkinson dan mempunyai struktur mikrostrip. Spesifikasi yang harus dipenuhi adalah frekuensi kerja 3 GHz, *range* frekuensi 2-4 GHz, *return loss*  $\leq -10$  dB, *insertion loss* untuk *1 to 2* adalah  $\leq -3$  dB sedangkan untuk *1 to 3* adalah  $\leq -4,77$  dB, dan VSWR maksimum 1,5. Saluran transmisi *power combiner/divider* ini terbuat dari bahan FR4 dengan ketebalan substrat 1,6 mm, tebal konduktor 0,035 mm, dan  $\epsilon_r$  adalah 4,3 karena mudah didapatkan dengan biaya murah.

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri - ITS

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


  
Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197011117993031002

  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197210012003121002

Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI - ITS

Menyetujui,  
Bidang Studi Telekomunikasi  
Multimedia  
Koordinator,

  
  
Dr. Tri Ariet Sardjono, ST., MT.  
NIP. 197602121995121001

  
Dr. Ir. Endrovwana, DEA  
NIP. 196504041991021001

## **BIOGRAFI PENULIS**



Hidayah lahir di kota Depok pada tanggal 19 Juni 1993. Surabaya menjadi kota tempat penulis mengenyam pendidikan di SDN Pacar Keling VIII, SMPN 9, dan SMAN 5 sebelum akhirnya melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis mengambil Jurusan Teknik Elektro dan fokus pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia. Selama aktif berkuliah di ITS, penulis mengikuti beberapa kepanitiaan mahasiswa dan juga sebagai asisten praktikum Komunikasi Data dan Dasar Sistem Telekomunikasi. Penulis mengambil topik tugas akhir di Laboratorium Antena dan Propagasi mengenai Riset Radar dan Array.